


FON PIZZOFALCONE



BIBLIOTECA NOVISSIMA

DI SCRITTORI

DEL SECOLO XIX

IV

DISCORSO PRELIMINARE

SULLO STUDIO

DELLA FILOSOFIA NATURALE

DI

SIR G. F. W. HERSCHEL

Traduzione

DI GAETANO DEMARCHI



NAPOLI

STAMPERIA E CARTIERE DEL FIBRENO

Strada Trinità Maggiore N.° 26,

1843

PARTE PRIMA

DELLA NATURA E DEI VANTAGGI IN GENERALE DELLO STUDIO DELLE SCIENZE FISICHE



CAPITOLO I

Dell' uomo riguardato come creatura d'istinto, di ragione e di specolazione. — Influenza generale degli studi scientifici sulla mente.

1. La condizione dell'uomo sul globo che abita e sul quale esercita il suo dominio, è per molti riguardi sommamente degna di osservazione. Paragonato con gli altri abitatori di quello, se riguardiamo solamente alla sua fisica costituzione, egli sembra quasi in ogni rispetto loro inferiore, e del pari sprovvisto di mezzi per sopperire ai suoi bisogni naturali ed alla propria difesa contro gl'innumerevoli nemici che lo circondano. Nessun altro animale passa una sì considerevol parte della sua esistenza in uno stato d'impotenza assoluta, o cade invecchiando in un'imbecillità cotanto protratta e lamentevole. A nessun altro animale di

sangue caldo ha la natura dinegato quel vestimento indispensabile, senza del quale le vicissitudini di un clima temperato e i rigori di un freddo sono del pari insopportabili; e appena ve n'ha alcuno cui siano stati dati con tanta parsimonia i mezzi esterni di offesa e di difesa. Privo egualmente di velocità per evitare, e di armi per respignere le aggressioni de' suoi voraci nemici; straordinariamente sensitivo dell'influenza atmosferica; e non fatto pei grossolani alimenti che la terra spontaneamente produce almeno per due terzi dell'anno, anche nei climi temperati, — l'uomo quando fosse abbandonato al solo istinto, sarebbe di tutte le creature la più misera e la più derelitta. Turbato dal terrore e tormentato dalla fame; ridotto agli spedienti più abbietti per celarsi ai suoi nemici, ed alle più vili astuzie per afferrare e distruggere una preda più nobile, la sua esistenza sarebbe un sutterfugio od uno stratagemma continuo; — le caverne della terra, le spaccature delle rocce, o le cavità degli alberi sarebbero la sua dimora; e si pascerebbe di vermi e di schifosi rettili o di quelle poche e crude produzioni del suolo che si potrebbero confare co'suoi organi, alternate talora con qualche avanzo di preda lacerato e mal concio da fiere di lui più potenti o da esse abbandonato per altri cibi maggiormente desiderati. Notevole soltanto per l'assenza di quelle facoltà per cui gli altri animali godono di un certo grado di sicurezza e sono rispettati, egli sarebbe spregiato dagli uni e predato dagli altri, finchè dopo alcune generazioni la sua specie rimarrebbe affatto estinta o, al più, sarebbe limitata a poche isole nelle regioni

tropiche, nelle quali il calore del clima, il picciol numero dei nemici, e l'abbondanza di cibo vegetale gli permetterebbero forse di precariamente sussistere.

2. Tuttavia l'uomo è indubitatamente il signore della creazione. Le più forti e le più feroci delle altre creature, — la balena, l'elefante, l'aquila, e la tigre, — sono da lui uccise per appagare i suoi più capricciosi bisogni, o domate per servirlo, o imprigionate per suo trastullo. Le spoglie di tutta la natura cedute con maggiore o minore facilità, o strappate a viva forza dalla miniera, dalla foresta, dall'oceano e dall'aria sono giornalmente in suoi pro rivolte agli usi più comuni. Tali sono i primi frutti della ragione. Se questi fossero i soli o i principali, se il puro acquisto di un potere sulla materia e sui men nobili animali che ne circondano, se l'accrescimento del nostro benessere esterno, e dei nostri mezzi di conservazione e di sensuale diletto che ne sono la conseguenza, formassero la somma dei privilegi conferiti dal possesso di questa facoltà, poco ci sarebbe per verità che meritasse di menarne vanto. Ma questo è tanto lungi dall'esser vero, che ognuno il quale passa la vita in sufficiente agiatezza o, per dir meglio, non consuma ansiosamente tutto il suo tempo nel provvedere le cose assolutamente necessarie all'esistenza, è conscio di bisogni e di appetiti, nei quali i sensi non hanno parte, — di una serie di pene e di piaceri nel loro genere affatto distinti da quelli che si provano per pura miseria o per puri godimenti del corpo; e s'egli ha provato questi piaceri e queste pene con qualche grado d'intensità, confesserà di leggieri ch'essi sono di una

natura assai superiore, e meritano assai più attenzione che non quelli dell'altra specie. Indipendentemente dai piaceri della fantasia, e dell'immaginazione o del conversare sociale, l'uomo è un essere specolativo; egli contempla il mondo e gli oggetti che lo attorniano, non con uno sguardo passivo e indifferente siccome una serie di fenomeni che non altrimenti l'interessano, se non in quanto hanno con la sua condizione una relazione immediata e possono servire al suo benessere, ma come un sistema con ordine e con intenzione stabilito. Egli approva ed altamente ammira l'armonia delle sue parti, l'artifizio e la virtù del suo ordinamento. In ciò che egli può scoprire ed intendere si adopera per imitare, e trova che sino ad un certo grado vi può riuscire, sebbene in una maniera al tutto rozza ed imperfetta; — in altre cose, quantunque ne comprenda l'artifizio, si vede mancare di ogni mezzo d'imitazione; — mentre in alcune, e sono queste evidentemente le più importanti, benchè ne scorga l'effetto, non ha nè cognizioni, nè potere sufficiente per indagarne la causa. In questo modo è condotto a concepire un Potere ed un'Intelligenza superiori alle sue facoltà e capaci di produrre e di mantenere tutto ciò che vede nella natura; — Potere ed Intelligenza che gli conviene chiamare infiniti, poichè non solamente non vede alcun limite attuale ai modi in cui si manifestano, ma trova al contrario che, più va investigando e più si stende la sfera della sua osservazione, continuamente gli si presentano con sempre crescente abbondanza; e che mentre lo studio di uno lo prepara ad intendere e ad apprezzarne un altro, le maraviglie

e le perfezioni del creato si succedono e s'incalzano, finchè le sue facoltà rimangono stupefatte dall'ammirazione, e il suo intelletto è rintuzzato dall'impossibilità di giungere ad un fine.

3. Allorchè dagli oggetti esterni rivolge lo sguardo sopra di sè, sulle sue facoltà vitali ed intellettuali, egli s'accorge che ha il potere di esaminare e di analizzare la sua propria natura soltanto sino ad un certo punto. Nella sua corporea struttura sente un potere di comunicare un certo moderato grado di movimento a se stesso e ad altri oggetti; che questo potere dipende dalla sua volontà, e che l'esercizio può esserne a suo arbitrio sospeso ed accresciuto dentro a certi limiti; ma *come* la sua volontà agisca sulle sue membra egli lo ignora; e donde tragga il potere così da lui esercitato, nulla v'ha che glielo riveli per ansioso che sia di conoscerlo. I sensi pure lo informano di una moltitudine di particolari relativi al mondo esterno, e scorge un apparecchio mercè del quale le impressioni possono dal di fuori essere, quasi altrettanti segnali, trasmessi all'interno della sua persona, e finalmente al cervello, dove confusamente s'avvede che l'essere il quale pensa, sente, ragiona e che egli chiama *io*, più specialmente risiede; ma per quali mezzi egli divenga conscio di queste impressioni, e quale sia la natura dell'immediata comunicazione fra quell'essere sensiente interno e la macchina che costituisce l'uomo esteriore, non lo può menomamente concepire.

4. Quando poi egli contempla ancor più attentamente i pensieri, gli atti e le passioni di questo suo sensiente ed intelligente *io*, egli trova per verità che

ha la facoltà della ricordanza, e che coll'aiuto della memoria può paragonare e distinguere, giudicare e risolvere, e soprattutto ch'egli è irresistibilmente spinto dalla percezione di qualunque fenomeno dentro o fuori di sè ad argomentare l'esistenza di qualche cosa anteriore che ha con esso la relazione di una *causa*, senza della quale non avrebbe luogo, e che questa cognizione delle cause e delle loro conseguenze è quello che, in quasi tutti i casi, determina la sua scelta e la sua volontà, mentre è tuttavia consapevole di una perfetta libertà di agire o di non agire. Trova pure ch'egli è in suo potere l'acquistare una maggiore o minor cognizione di cause e di effetti, secondo il grado di attenzione che vi presta, attenzione che è pure in gran parte un atto volontario; e spesso, allorquando la sua scelta è stata determinata da una cognizione imperfetta o da un'attenzione insufficiente, vede che la ragione corregge il suo giudizio, sebbene per avventura troppo tardi perchè questa novella considerazione possa influire sulla sua decisione. Così viene aperto al suo sguardo intellettuale un mondo interno, abbondante di fenomeni e di relazioni, e della più alta ed immediata importanza. Ma mentre non può far a meno di comprendere che la percezione acquistata di questa interna sfera di pensiero e di sentire è realmente la sorgente di tutto il suo potere, e la fonte medesima della sua superiorità sulla natura esterna, si sente tuttavia soltanto capace di entrare assai imperfettamente in questi penetrali del proprio seno e di analizzare le operazioni della sua mente, siccome un *essere*, in questa e in tutte le altre cose, « *oscura-*

mente savio »; e vede che quanto la più lunga vita ed il più vigoroso intelletto gli concedono di scoprire con le sue proprie ricerche o col valersi di quelle degli altri, serve solamente a porlo sulla frontiera del sapere e a procurargli un lontano barlume di sterminati regni al di là di quella, nei quali nissun pensiero umano ha penetrato, e che tuttavia egli sa di certo dover essere familiarmente noti a quell' Intelligenza, che scopre in tutta la creazione, non meno delle più ovvie verità ch' egli medesimo giornalmente applica ai suoi meno importanti disegni. È egli adunque da maravigliarsi, se un essere sì fattamente costituito si fa primamente a nutrire una speranza e poi per gradi si conferma nella certezza, che la sua esistenza intellettuale non terminerà con la dissoluzione della sua struttura corporea, ma che al contrario in uno stato di futura esistenza, sgombro da mille impedimenti che la sua presente condizione gli oppone, dotato di sensi più acuti e di più nobili facoltà, sarà per attingere profondamente a quella fonte di benefica sapienza verso la quale quel poco di sapore che ne ha gustato sulla terra lo porta con un sì vivo desiderio?

5. Nulla di più mal fondato pertanto dell' obbiezione fatta *in limine* da persone, forse di retta intenzione, ma certamente pregiudicate, contro lo studio della filosofia naturale, e tutta la scienza medesima, perchè fomenti ne' suoi coltivatori una indebita ed arrogante prosunzione, e li conduca a dubitare dell'immortalità dell' anima e a farsi beffe della religione rivelata. Noi possiamo asserire con confidenza che il suo effetto naturale sopra ogni mente ben formata è

e debbe essere direttamente contrario. Senza dubbio la testimonianza della ragione naturale, qualunque sia l'oggetto su cui si eserciti, non può di necessità giungere a quelle verità che è ufficio della rivelazione di far conoscere; ma mentre stabilisce l'esistenza e i principali attributi di una Divinità su tali basi da rendere il dubbio assurdo e l'ateismo ridicolo, certamente non oppone un ostacolo naturale o necessario ad un ulteriore progresso: al contrario con accogliere come principio vitale uno spirito illimitato d' investigazione ed un ardore di aspettazione, essa scioglie la mente da pregiudizi di ogni specie e la lascia libera ed aperta ad ogni impressione di più alto carattere che sia capace di ricevere, difendendola solamente contro l'entusiasmo e contro le illusioni per mezzo dell' abitudine di rigorose indagini, ma incoraggiando, lungi dal sopprimere, ogni cosa chè può offrire un prospetto od una speranza oltre a questo oscuro ed imperfetto stato che così poco ci appaga. È carattere del vero filosofo, lo sperare tutte le cose che non sono impossibili, e il credere in tutte quelle che non sono irragionevoli. Colui il quale ha veduto oscurità, che sembravano impenetrabili nella scienza fisica e matematica, subitamente sparire, e i campi più sterili e meno allettevoli dell' investigazione convertiti, quasi per inspirazione, in ricche ed inesauribili sorgenti di sapere e di potenza al semplice cambiare del nostro punto di vista, o colla mera applicazione di qualche principio non ancora tentata per l' addietro, sarà sicuramente l' ultimo che voglia perdersi d'animo ed augurar male dei presenti o dei futuri destini del genere umano; men-

tre da un' altra parte le viste senza limiti tanto delle relazioni intellettuali e morali, quanto delle materiali che gli si aprono dinanzi da ogni lato nel corso di questi studi, la consapevolezza del basso luogo che occupa nella creazione, ed il sentimento sempre presente della propria debolezza ed incapacità di sospendere o di modificare il menomo movimento dei vasti ordigni che si vede agire d'intorno, lo debbono efficacemente convincere che l'umiltà delle pretese non meno che la fiducia della speranza, sono le qualità che meglio si addicono al suo carattere.

6. Ma mentre noi così difendiamo lo studio della filosofia naturale contro un'accusa, un tempo formidabile per la pertinacia e per l'acrimonia con le quali era sostenuta, ed ancora talvolta rinnovata a tormento e dispiacere di ogni persona di mente sana, dobbiamo aver cura che la testimonianza pôrta dalla scienza alla religione, qualunque sia la sua forza e il suo valore, sia almeno incorrotta, spontanea e indipendente. Non facciamo qui allusione a quei ragionatori che vorrebbero far piegare tutta la natura alle loro grette interpretazioni di passi oscuri e difficili delle sacre carte: questo metodo era degno dei persecutori di Galileo e degli altri fanatici del decimoquinto e del decimosesto secolo, ma nei tempi in cui siamo non potrebbe essere seguito se non da fabbricatori di sogni. Tuttavia, senza andar tant' oltre, non è cosa straordinaria che si trovino persone sinceramente affezionate alla scienza e ansiose di promuoverla, le quali si mostrano permalose in questa materia, esultano ed applaudiscono allorchè s'incontra qualche fatto che, secondo

la loro opinione, viene a spiegare alcuna delle allusioni scritturali, e provano dispiacere e rincrescimento, se l'andamento generale delle scoperte in qualche parte della scienza non coincide colle idee che si sono stampate nella mente intorno a particolari passi della Bibbia. A persone di questa disposizione di mente dovrebbe bastare che si osservasse, da una parte che la verità non può mai essere contraria alla verità, e dall'altra che l'errore non può essere ribattuto con effetto se non con profonde ricerche, e col seguirne la traccia sino alla sua origine. Ciò nondimeno sarebbe grandemente da desiderarsi che simili persone, stimabili ed eccellenti quali sono per la maggior parte, prima di gettare il peso del loro applauso o della loro disapprovazione nella bilancia dell'opinione scientifica per questi soli motivi, riflettessero primamente, che il credito e la rispettabilità di una testimonianza, possono essere distrutti coll'abusarne; e in secondo luogo che questa medesima disposizione di mente mostra una segreta diffidenza de'suoi propri principii, poichè il grande e solo carattere del vero è la sua idoneità a sopportare le prove di universali sperimenti e ad uscire inalterato da ogni possibile forma di onesta e sincera discussione.

7. Se la scienza può essere o screditata col farla credere opposta alla religione, o impedita nel suo sviluppo da false idee del pericolo di libere investigazioni, v'ha un altro mezzo col quale può essere degradata dalla sua naturale dignità, e questo è il riguardarla sotto l'aspetto di secondaria e di provveditrice ai nostri mal sazi appetiti. La domanda *cui bono*, os-

sia a qual vantaggio e a qual fine pratico tendono le vostre ricerche? è tale che un filosofo specolativo che ami la scienza per se stessa, e goda, siccome un essere ragionevole dovrebbe godere della semplice contemplazione di armoniche e vicendevolmente connesse verità, può raramente udirla senza un sentimento di umiliazione. Egli sente che vi ha un piacere sublime e disinteressato nelle sue specolazioni che dovrebbe proteggerle contro tali domande. Siccome esse comunicano alla sua mente la felicità la più pura, di cui (dopo l' esercizio di sentimenti benevoli e morali) l'umana natura sia capace; siccome esse non tendono a recar nocumento a chicchessia, egli potrebbe sicuramente addurre queste ragioni per diretta e sufficiente risposta a coloro i quali, possedendo poca capacità e minore inclinazione agli studi intellettuali, gli vanno costantemente ripetendo siffatta interrogazione. Ma s' egli si può risolvere a discendere da questa onorata altezza per giustificare se stesso, i suoi studi e i suoi piaceri agli occhi altrui, gli basterà di accennare alle storie di ogni scienza in cui le specolazioni apparentemente le più inutili sono quasi sempre state quelle dalle quali emanarono le più grandi delle pratiche applicazioni. Che cosa, per esempio, poteva in apparenza essere più inutile delle aride specolazioni degli antichi geometri intorno alle proprietà delle sezioni coniche, o veramente dei sogni di Kepler (siccome dovettero naturalmente apparire ai suoi contemporanei) sulle armonie numeriche dell' universo? Tuttavia questi sono i gradini per mezzo dei quali ci siamo innalzati alla cognizione dei movimenti elittici

dei pianeti e della legge di gravitazione, con tutte le sue splendide conseguenze teoretiche e i suoi inestimabili risultamenti pratici. Il ridicolo sparso sui *dondoli* ai tempi di Hooke (1) non lo impedì di riproporre il *pendolo* come principio di misura, stato poscia così bene ridotto in pratica dal genio e dalla perseveranza del capitano Kater; nè quello cui Boyle fu soggetto nelle sue ricerche sull'elasticità e sulla pressione dell'aria fu di ostacolo alla serie di scoperte che terminò nella macchina a vapore. Gli alchimisti coi loro sogni si posero sulla via degli sperimenti, e questi sogni furono cagione che si osservassero le maraviglie della chimica, nello stesso tempo che condussero i loro fautori (convien confessarlo) ad un meritato disprezzo ed alla rovina. In questo caso si fu l'abbandono morale che diede al ridicolo un peso ed una forza che non avrebbe nè necessariamente nè naturalmente avuto; ma fra gli alchimisti v'erano uomini d'ingegno che non lasciavano di ragionare, mentre lavoravano e che, non contenti di andar sempre tentone e di errare in traccia del loro oggetto, cercavano con diligenza le guide dei loro studi nell'osservata natura dei loro agenti; a costoro siamo debitori della filosofia sperimentale.

8. Col sin qui detto non si vuole asserire che non vi sia da distinguere il grande dal piccolo nella filosofia specolativa, nè si vuol mettere la soluzione di un enimma a livello collo sviluppo di una legge della natura, e meno ancora s'intende di approvare la triviale

(1) Hooke, opere postume. Londra, 1705, pag. 472 e 438.

definizione dello Smith (1), che il filosofo è una persona il cui mestiere è di non far nulla e di specolare su tutto. Le specolazioni del filosofo naturale, benchè per qualche tempo lo conducano lungi dai sentieri segnati e dalle cose di uso giornaliero, essendo fondate sulla reale natura, hanno tutte, per necessità, un'applicazione pratica, anzi queste applicazioni sono il criterio medesimo della loro verità, ed offrono le più pronte e le più compiute verificazioni delle sue teorie; verificazioni che egli non trascurerà di sottoporre alla prova, nello stesso modo che un aritmetico non suole ommettere di far la prova de' suoi calcoli, od un prudente geometra di applicare i suoi teoremi generali a casi particolari (2).

9. Tuttavia si vuol confessare che per le menti igna-

(1) Della ricchezza delle nazioni, lib. I, cap. I, pag. 15.

(2) Su questo soggetto non possiamo trattenerci dal citare un passo di uno dei più profondi e ad un' ora più popolari scrittori dei nostri tempi, su di una materia sconnessa, per verità, dalla nostra, ma che grandemente dilucida il punto che trattiamo. « Se la scienza foss' anche manifestamente incompiuta, ma della più alta importanza, non sarebbe sicuramente da saggio l' impedire le investigazioni, guidate da giusti principii, quand' anche la loro utilità pratica ed immediata non fosse visibile. Nelle matematiche, nella chimica ed in ogni parte della filosofia naturale, quante ricerche sono necessarie pel loro incremento, le quali prese separatamente non sembrano condurre ad un proposito specificamente vantaggioso? Quante utili invenzioni e quanto prezioso sapere sarebbero stati perduti se una ragionevole curiosità ed un semplice amore della scienza non fossero stati riguardati come un motivo sufficiente per la ricerca della verità? » — Malthus, *Principii di Economia politica*, pag. 16.

re della scienza, e non avvezze a considerare le mutue dipendenze delle sue varie parti, la facile occorrenza di questa domanda del *vantaggio diretto*, non è nè straordinaria, nè del tutto biasimevole. Si richiede qualche abito di astrazione, qualche penetrazione della mente, con una tintura di scientifiche investigazioni, qualche convinzione del pregio di quei principii che giacciono nascosti nei fatti più comuni e più ordinari, qualche sperienza infine nello svilupparli e metterli in evidenza, nell' annunziarli in termini precisi e nell' applicarli alla spiegazione di altri fatti di un carattere meno familiare, ovvero all' ottenimento di un ovvio ed utile disegno, per divezzare la mente dalla sua tendenza a correre a dirittura all' oggetto, a sprezzare i mezzi per una esagerata stima del fine, e a perder di vista la ricchezza e la varietà delle prospettive che s' incontrano d' ambi i lati per via, mentr' ella guarda con occhio troppo intento la meta che sola si è avvezzata a desiderare.

10. Non dobbiamo giammai dimenticare che i principii e non i fenomeni, le leggi e non i fatti isolati e indipendenti, sono gli oggetti cui tendono gli studi del filosofo naturale. Siccome il vero è semplice e costante, un principio può essere dimostrato pienamente e con eguale chiarezza dal fatto più semplice e più familiare come dal più imponente e straordinario fenomeno. I colori che brillano sopra una bolla di sapone sono la conseguenza immediata di un principio il più importante per la varietà dei fenomeni che spiega, e il più bello per la sua semplicità e compendiosa giustezza, nell' intera scienza dell' ottica. Se la natura dei

colori periodici è fatta intelligibile per la contemplazione di un oggetto così triviale, esso diviene da quel momento uno stromento nobile agli occhi di un sano giudizio; ed il formare una bolla di sapone grande, regolare e durevole può meritare i serii e lodevoli tentativi di un savio, mentre fanciulli stanno a riguardare e a farne beffe, ovvero uomini non più assennati dei fanciulli fanno le maraviglie per una fatica così inutile e una tanta perdita di tempo. Pel filosofo naturale non v'è nella natura alcun oggetto che sia da disprezzare. Dalla più picciola sua opera egli può trarre le più grandi lezioni. Il cadere di un pomo a terra può innalzare i suoi pensieri alle leggi che governano le rivoluzioni dei pianeti nelle loro orbite; e la posizione di un sassolino gli può dimostrare qual fosse lo stato del globo su cui vive, migliaia di secoli prima che la sua specie vi abitasse.

11. E questa è infatti una delle grandi sorgenti del diletto che lo studio della scienza naturale procura a' suoi coltivatori. Una mente che abbia una volta gustato il piacere delle investigazioni scientifiche, ed abbia preso l'abito di applicarne prontamente i principii ai casi che occorrono, ha dentro di sè una fonte inesauribile di pure ed incoraggianti contemplazioni: si direbbe che Shakspeare ebbe in vista una tal mente quando descrive un uomo contemplativo, il quale trova « *lingue negli alberi, libri nei discorrenti ruscelli, sermoni nei sassi e il bene dappertutto* ». Avvezzo a seguire a passo a passo l'operazione delle cause e le prove delle leggi generali, in casi nei quali l'occhio ignorante e non indagatore non vede nè no-

vità nè bellezza, egli cammina in mezzo a portenti; ogni oggetto che incontra rischiara qualche principio, somministra qualche insegnamento, e gli fa sentire l' ordine e l' armonia. Nè questo piacere, che gli è così comunicato, è meramente passivo. Mille questioni continuamente nascono nella sua mente, mille soggetti di ricerche gli si presentano, che mantengono le sue facoltà in un costante esercizio, e i suoi pensieri sempre svegliati, cosicchè la stanchezza è sbandita dal suo vivere, e quell' appetito di passatempi artifiziali e di divagamento dell'animo che mena a tanti trattenimenti frivoli, indegni e distruggitori, è intieramente sradicato dal suo seno.

12. Non è uno dei minori vantaggi di questi studi (vantaggio ch' essi posseggono tuttavia in comune con ogni specie di piaceri intellettuali) l'essere totalmente indipendenti dalle circostanze esteriori, e il poter essere coltivati in ogni condizione della vita in cui l'uomo sia posto. Il più alto grado della mondana prosperità è così lontano dall'essere con questi studi incompatibile, ch'egli somministra maggiori facilità alla loro coltivazione, e vi aggiunge quella specie di fresco e novello sapore che nasce in parte dal contrasto ed in parte dalla consapevolezza della peculiare preminenza che posseggono sui piaceri dei sensi, per essere suscettibili di un accrescimento illimitato, e di venir continuamente senza sazietà e senza fastidio ripetuti. Possono pure essere coltivati negl'intervalli della vita più operosa: e la soddisfazione tranquilla e spassionata che procurano all'animo, li rendono un porto deliziosissimo contro le agitazioni e le

dissensioni del mondo, e contro il conflitto delle passioni, dei pregiudizi e degl' interessi nei quali l'uomo d'affari si trova continuamente involto. V'ha qualche cosa nella contemplazione delle leggi generali che potentemente ci persuade a rinunziare al pensiero del nostro individuo, e ad affidarci senza riserva alla loro azione; mentre l'osservazione dell'inalterabile ed energica regolarità della natura, l'immensità delle sue operazioni, e la certezza con la quale essa giunge ai suoi fini, tendono irresistibilmente a tranquillare e a rassicurare l'animo e a renderlo meno soggetto alle lagnanze, all'egoismo, e alla turbolenza delle passioni. E questo avviene non con avvilire la nostra natura riducendola ad una debole condiscendenza e ad un'abbietta sommessione alle circostanze, ma coll'infondere in noi, quasi da sorgente interna, un sentimento di nobiltà e di potere che c'innalza e ci fa superiori a quelle; con mostrarci la nostra forza e la nostra innata dignità, e coll'invitarci ad esercitare quelle facoltà per cui mezzo siamo capaci di comprendere tanta grandezza, e che formano, per così dire, un anello fra noi, e i migliori e più nobili benefattori della nostra specie, coi quali comunichiamo col pensiero, partecipando alle scoperte che li hanno posti al di sopra dei loro simili e collocati più presso al loro Creatore.

CAPITOLO II

Della scienza astratta come preparazione allo studio della fisica. — Una profonda cognizione di quella non è indispensabile per una chiara intelligenza delle leggi fisiche. — Come senza di essa si possa ottenere un convincimento della loro verità. — Esempi. — Ulteriore divisione del soggetto.

13. La scienza è il sapere di molti, ordinatamente e metodicamente digerito e disposto, in modo che possa essere da altri acquistato. La cognizione delle ragioni e delle loro conclusioni costituisce la *scienza astratta*, quella delle cause e dei loro effetti, e delle leggi della natura, costituisce la *scienza naturale.*

14. La scienza astratta è indipendente da un sistema di natura, da una creazione, da ogni cosa in somma, tranne la memoria, il pensiero e la ragione. I suoi oggetti sono in primo luogo quelle primarie esistenze e relazioni, il cui *non essere* non possiamo nemmeno concepire, quali sono lo spazio, il tempo, il numero, l'ordine ecc.; e in secondo luogo quelle forme artifiziali o simboli, che il pensiero ha il potere di crearsi a suo talento, e di sostituire come rappresentanti, con l'aiuto della memoria, alle combinazioni di quegli oggetti primari e delle proprie sue concezioni, sia per facilitare l'atto del ragionare, sia per servirsene come

depositi convenienti delle proprie conclusioni, o perchè si possano comunicare altrui. Tali sono 1° il *linguaggio* orale o scritto; le sue forme convenzionali che costituiscono la grammatica, e le regole per valersene nell'argomentazione, in cui consiste la logica delle scuole; 2° la *notazione* la quale, applicata al *numero*, è *aritmetica*, e alle relazioni più generali di quantità od ordine astratti, è *algebra;* 3° quella specie di logica più sublime, la quale c'insegna a far uso della nostra ragione nel modo più vantaggioso per la scoperta della verità; che indica i segni ai quali possiamo essere sicuri di esservi giunti; e che collo scoprire le sorgenti dell'errore, e col mostrare i ripostigli nei quali le fallacie sogliono celarsi, ci avverte ad un tempo del loro pericolo, e ci fa vedere come si possano evitare. Questa logica maggiore può essere chiamata *razionale* (1), mentre a quella inferiore che si raggira su semplici parole, si può applicare per distinzione l'epiteto di *verbale* (2).

15. Una certa moderata conoscenza della scienza astratta è altamente da desiderarsi da chiunque voglia fare progressi considerevoli nella fisica. Siccome l'universo esiste nel tempo e nello spazio; e siccome il moto, la velocità, la quantità, il numero e l'ordine sono elementi principali della nostra cognizione delle cose esterne e dei loro cambiamenti, una conoscenza di quelli, astrattamente considerati (cioè indipendente da qualunque considerazione delle cose particola-

(1) Λογος, *ratio*, ragione.

(2) Λογος *verbum*, parola.

ri, mosse, misurate, numerate o disposte) debb'essere evidentemente un'utile preparazione per lo studio più complesso della natura. Ma queste scienze si vogliono pure raccomandare per un altro motivo come una preparazione allo studio della filosofia naturale. Il loro oggetto è così definito, e le nostre nozioni di quelle sono così distinte, che noi possiamo ragionarne con sicurezza che le parole e i segni impiegati nei nostri ragionamenti sono pieni e veri rappresentanti delle cose significate; e conseguentemente che nell'usare parole o segni ragionando, non introduciamo, coll'uso loro, nozione alcuna che sia estranea, nè escludiamo dalla dovuta considerazione alcuna parte del caso di cui si tratta. Per esempio: le parole spazio, quadrato, circolo, cento ecc. comunicano alla mente nozioni così compiute in se stesse, e così distinte da qualunque altra cosa, che siamo sicuri nell'impiegarle di conoscere e di avere in vista tutto il nostro intendimento. La cosa è assai diversa quando si tratta di parole che esprimono oggetti naturali e relazioni miste. Supponiamo per esempio la parola *ferro*. Persone differenti applicano differentissime idee a questa parola. Uno che non abbia mai udito parlare di magnetismo ha un'idea del *ferro* assai diversa da un altro che sia in una contraria condizione. Il volgo che riguarda questo metallo come incombustibile, e il chimico che lo vede ardere con la massima furia ed ha altre ragioni per considerarlo come uno dei corpi più combustibili nella natura: il poeta che se ne serve come di un emblema della rigidezza, e il fabbro e il macchinista nelle mani dei quali è plasti-

co e si getta come cera in qualunque forma; il carceriere che lo apprezza come un impedimento, e l'*elettricista* che non vi scorge altro fuorchè un mezzo di aperta comunicazione, per cui l'aria, quel massimo degli ostacoli, può essere attraversata dal fluido che vi è imprigionato; hanno tutti diverse ed imperfette nozioni della stessa parola. La significazione di un simil termine è da paragonarsi all'arcobaleno,— ognuno ne vede uno diverso e tutti mantengono che è un solo. Lo stesso accade di quasi tutti i nostri termini intorno al sentire. Alcuni sono indefiniti, come duro o molle, leggiero o pesante (termini che furono già cagione d'innumerevoli errori e controversie); altri sono sommamente complessi, come uomo, vita, istinto. Ma il peggio si è che alcuni, anzi la maggior parte, hanno due o tre significati; bastantemente distinti l'uno dall'altro per rendere una proposizione vera in un senso e falsa in un altro od anche intieramente falsa; tuttavia non distinti a sufficienza per impedirci dal confonderli nell'operazione della mente con cui vi siamo giunti, o per metterci in grado di riconoscere immediatamente la fallacia quando ci siamo condotti da un raziocinio di cui *crediamo* di aver esaminato e provato ogni passo. Al certo coloro che danno in questo modo due significati ad una parola, o ne aggiungono un altro novello ad un vecchio vocabolo, adoperano con assurdità eguale a quella dei coloni che si sparpagliano in tutto il mondo e danno ad ogni luogo in cui giungono i nomi di quelli che hanno lasciato, finchè tutte le distinzioni della nomenclatura geografica sono confuse, e diveniamo incapaci di decidere

se un avvenimento che si dice accaduto a Windsor, seguisse in Europa, in America o nell' Australia (1).

16. E per verità egli è in questo doppio ed incompiuto senso delle parole che dobbiamo cercare l' origine di una grandissima parte degli errori nei quali cadiamo. Ora le scienze astratte, quali sono l'aritmetica, la geometria, l' algebra ecc., mentre porgono materia all' esercizio del ragionare intorno ad oggetti che sono, o almeno possono essere concepiti come esistenti, esternamente a noi; essendo tuttavia libere da queste sorgenti di errore e d' inganno, ci avvezzano ad usare con precisione il linguaggio come stromento di ragione, e rendendoci familiare, nel nostro progresso verso la verità, un andar ritto e diretto su di un fermo terreno, ci danno quel giusto e dignitoso portamento della mente che non potrebbe mai acquistarsi da chi dovesse sempre badare ai passi fra gl' impedimenti e lo sfasciume, o raffermarli nel confuso ondeggiamento di pugnanti significati.

17. Ma vi è ancora un altro aspetto sotto il quale una certa conoscenza della scienza astratta può essere riguardata come grandemente da desiderarsi nell' educazione generale (se non indispensabilmente necessaria), per farci toccar con mano la distinzione che passa tra lo stretto e il vago ragionare, per insegnarci che cosa è realmente la dimostrazione, e per

(1) Sarebbe da desiderarsi che i navigatori fossero più cauti a non incorrere in questa censura. Nello scorrere rapidamente un mappamondo, vi troviamo tre isole Melville, due stretti del Re Giorgio, e innumerevoli Capi Bianchi.

darci in tal modo una piena ed intima idea della qualità e della forza delle prove su cui riposa la nostra conoscenza del vero sistema della natura e delle leggi dei fenomeni naturali. Per quest'oggetto può tuttavia bastare il non essere del tutto ignaro delle parti più elementari delle matematiche. La catena ci è spiegata dinanzi, ed ogni anello è sottoposto al nostro libero esame, se abbiamo pazienza ed inclinazione per entrare in questi particolari. Centinaia di persone l'hanno percorsa e continueranno a percorrerla; ma per gli uomini in generale è sufficiente il riconoscere la solidità e l'adamantina natura de'suoi materiali, e la sincera esposizione delle sue più deboli come delle più forti sue parti. Tuttavia se ci contentiamo di questo colpo d'occhio generale della materia, dobbiamo pure star contenti ad accettare con confidenza, cioè sull'autorità di coloro che hanno fatto un più profondo esame, ogni conclusione che non può esser resa apparente ai nostri sensi. Ora fra queste conclusioni ve ne sono tante così sorprendenti e, a dir vero, apparentemente così stravaganti, ch'egli è al tutto impossibile ad una mente investigatrice di appagarsi d'una semplice affermazione, e siamo irresistibilmente spinti a volerci maggiormente convincere della loro verità. Quale semplice asserzione farà credere ad un uomo qualunque, che in un minuto secondo di tempo, in un movimento del pendolo di un orologio, un raggio di luce scorra 192,000 miglia, e farebbe perciò il giro del mondo a un di presso in quel tempo che s'impiega in un battere di palpebra, e assai più presto che non si faccia un solo slancio da un veloce corritore?

*

A chi si farà credere senza dimostrazione che il sole è quasi un milione di volte più grande della terra? e che sebbene sia così remoto da noi, che una palla da cannone direttamente lanciata contro di lui, la quale mantenesse tutta la sua velocità, metterebbe vent'anni a giungervi, egli fa tuttavia sentire l'effetto della sua attrazione sulla terra in un istante inestimabile di tempo? — strettezza d'unione di cui non ci possiamo formare se non una debole e al tutto inadeguata idea, paragonandola ad una connessione materiale; posciachè la comunicazione di un impulso a tanta distanza, per via di un solido intermedio conosciuto, richiederebbe, non pur momenti, ma degli anni interi. E quando con istento e con difficoltà abbiamo fatto forza alla nostra immaginazione per concepire una sì enorme distanza, una forza così intensa e penetrante, se ci si dirà che l'una si riduce ad un punto insensibile, e l'altra non è sentita dalla più vicina delle stelle fisse, per semplice effetto della loro lontananza, mentre fra quelle medesime stelle ve ne hanno alcune il cui splendore eccede di molte centinaia di volte quello del sole istesso, — quantunque non sia in nostro potere di negare la verità di questa asserzione, non possiamo non sentire la più ardente curiosità di sapere *come* queste cose siano state riconosciute e provate.

18. Gli accennati fatti sono fra quei risultamenti delle scientifiche ricerche, che per la loro sterminata grandezza sembrano trascendere le forze del nostro concepimento. Ve ne sono altri, per altra parte, che per la loro minutezza parrebbero sfuggire al potere

medesimo del pensiero non che a una distinta ed accurata misura. Chi non chiederebbe una dimostrazione quando gli si dicesse che l' ala di un moscerino batte molte centinaia di volte in un minuto secondo? o che esistono esseri animati e regolarmente organizzati, dei quali molte migliaia di corpi posti l'uno accanto all' altro non occuperebbero la lunghezza di un' oncia? Ma che sono queste cose a fronte delle sorprendenti verità che le moderne investigazioni ottiche hanno rivelate, le quali c'insegnano che ciascun punto di un *mezzo* per cui passi un raggio di luce va soggetto ad una successione di movimenti periodici, regolarmente ricorrenti ad intervalli uguali, niente meno che cinquecento milioni di milioni di volte in un solo minuto secondo! Che in virtù di questi movimenti, comunicati ai nervi dei nostri occhi, ci è dato di vedere, — anzi che la *differenza* nella frequenza del ricorrer loro si è quella che produce in noi il senso della diversità dei colori; che, per esempio, nell' acquistare la sensazione del rosso i nostri occhi sono affetti quattrocento ottantadue milioni di milioni di volte; pel giallo cinquecento quarantadue milioni di milioni di volte; e pel pavonazzo settecento sette milioni di milioni di volte per minuto secondo (1). Siffatte cose non suonano esse più come deliri di pazzi, che come sensate conclusioni di persone savie?

19. Esse sono tuttavia conclusioni alle quali certissimamente giungerà chiunque voglia occuparsi nel-

(1) Young. Letture sulla Fil. Nat. ii, 627. Vedi anche le Trans. Fil. 1801—2.

l' esaminare la serie de' raziocinii coi quali sono state dedotte; ma per far questo si richiede qualche cosa di più che i semplici elementi della scienza astratta. Ma lasciando dall' uno dei lati cotesti esempi, i quali a dir vero sono più fatti per sorprendere e sbalordire che per produrre alcun altro effetto, dobbiamo osservare che non è possibile di compiutamente persuaderci di essere giunti a stabilire positivamente una legge qualunque di natura, fintantochè partendo da questa e facendone la base del raziocinio, non possiamo dimostrare con precisi argomenti che i fatti osservati ne debbono derivare come necessarie conseguenze logiche, e *ciò* non vagamente e in modo generico, ma con tutta la possibile precisione di tempo, luogo, peso e misura.

20. A far questo, tuttavia, siccome fra poco vedremo, si richiede in molti casi un grado di conoscenza delle matematiche e della geometria che non si può acquistare dall' universalità del genere umano, la quale non ha tempo, quand' anche ne avesse l' idoneità, di entrare in queste investigazioni, alcune delle quali presentano un tal grado di difficoltà da poter solamente essere con buon esito proseguite da coloro che vi consacrano tutta la loro attenzione, e ne fanno una seria occupazione di tutta la vita. Ma vi ha appena una persona di buon intelletto ordinario, sebben poco esercitato negli studi astratti, alla quale non si possa far facilmente comprendere almeno la generale concatenazione de' raziocinii con cui le grandi verità fisiche sono dedotte, e le tendenze e le connessioni essenziali delle varie parti

della filosofia naturale. Vi sono pure parti intiere della scienza assai estese ed importanti, alle quali il raziocinio matematico non è mai stato applicato: tali sono la chimica, la geologia e la storia naturale in genere, e molte altre in cui ha una parte assai subordinata, e i cui principii essenziali o le cui basi di applicazione ad oggetti utili possono essere perfettamente intesi da uno studioso il quale non conosca altro in matematica fuorchè le regole dell'aritmetica; di modo che nessuno, per mancanza d'istruzione matematica, debbe lasciarsi rimuovere dal proposito di acquistar cognizioni in questa materia, ed anche di occuparvisi attivamente in indagini originali. In quelle stesse parti che, come l'astronomia, l'ottica e la dinamica, si trovano quasi esclusivamente sotto il dominio delle matematiche, e nelle quali non si dà vero progresso senza *qualche* cognizione della geometria, i principali *risultamenti* ne possono essere perfettamente intesi senza di quelle. Ad uno che sia incapace di seguire gli avviluppamenti delle dimostrazioni matematiche, il convincimento che nasce dalle predizioni verificate debbe tener luogo di quella più pura e più soddisfacente confidenza che procura la sola verificazione di ogni passo nel ragionare, poichè tutti riconosceranno la giustezza di quelle asserzioni che si vedono giornalmente confermate dalla pratica.

21. Tra le verificazioni di questo genere pratico che abbondano in ogni parte della fisica, non ve n'ha alcuna più imponente della precisa predizione dei più gran fenomeni dell'astronomia; nessuna certamente che porti una più ampia convinzione ad ogni

mente, a cagione della sua notorietà e del suo carattere sgombro da ogni equivoco. Epperò la predizione degli ecclissi ha sin dai tempi più remoti eccitata l' ammirazione degli uomini, ed è stata un potente stromento per cui la loro sommessione (per così dire) alla scienza naturale, e il loro rispetto per coloro che la professano, furono mantenuti; e quantunque se ne sia fatto uno strano abuso nei secoli d' ignoranza dalle sovrannaturali pretese degli astrologi, la credenza prestata alle loro stesse assurdità dimostra la forza di questo genere di prova sulle menti degli uomini. Le predizioni degli astronomi sono tuttavia troppo familiari a questi tempi, per isconcertare il giusto equilibrio del nostro giudizio, poichè lo stesso ritorno delle comete, fedeli ai loro sentieri, ed esatte all' ora stabilita del loro apparire, ha cessato di sorprendere, quantunque debba sempre recar diletto a tutti coloro che hanno un' anima capace di sentire sì begli esempi di concordanza tra i fatti e le teorie. Ma il tempo in cui queste cose eccitavano una mera maraviglia è passato, e gli uomini preferiscono di essere guidati ed illuminati all' essere colpiti da stupore ed abbagliati. Gli ecclissi, le comete ed altre cose simili somministrano soltanto rare e passeggiere dimostrazioni della potenza del calcolo, e della certezza dei principii sui quali è fondato. Una pagina delle « *distanze lunari* » tolta dall' almanacco nautico vale quanto tutti gli ecclissi che siano mai occorsi, per inspirare questa necessaria confidenza nelle conclusioni della scienza. Che un uomo, col misurare semplicemente l' apparente

distanza della luna da una stella, con un picciolo stromento portatile tenuto in mano ed applicato all' occhio, anche su di un suolo instabile qual è la tolda di una nave, possa dire positivamente a cinque miglia più o meno, dove egli si trovi in mezzo ad uno oceano infinito, non può non apparire alle persone ignare dell'astronomia fisica una cosa che abbia del miracoloso. Eppure alternative di vita e di morte, di ricchezza e di rovina sono giornalmente e a tutte le ore fatte dipendere con perfetta confidenza da questi maravigliosi computi, i quali parrebbero quasi essere stati inventati espressamente per mostrare quanto gli estremi di un raffinamento specolativo e di un' utilità pratica possano essere l' uno all' altro avvicinati. Abbiamo sott' occhio un aneddoto comunicatoci da un officiale di marina (1) noto per le molte e varie qualità del suo ingegno, il quale mostra di quanta importanza questi risultati possano divenire in pratica. Egli fece vela da San Blas sulla costa occidentale del Messico, e dopo una navigazione di 8000 miglia, che durò 89 giorni, arrivò nelle vicinanze di Rio di Janeiro, navigando in questo intervallo a traverso il mar Pacifico, intorno al Capo Horn e nell'Atlantico meridionale, senza mai scoprir terra o veder neppure una sola vela, tranne una balenaria americana al di là del Capo sovr' accennato. Giunto ad una settimana di distanza da Rio, si pose seriamente a determinare, per mezzo di osservazioni lunari, la linea precisa del corso della nave e la sua situazione ad un determinato mo-

(1) Il capitano Basilio Hall della marineria reale.

mento, ed essendosi assicurato di questo, entro un margine di cinque o di dieci miglia, percorse il rimanente della sua via coll'aiuto di quei metodi più pronti e più compendiosi che son noti ai navigatori, ai quali altri si può fidare nelle brevi corse da un punto conosciuto ad un altro, ma che possono essere fallaci nelle lunghe navigazioni in cui la luna è la sola guida sicura. Il rimanente del racconto lo daremo nelle stesse parole che ci furono favorite. « Drizzammo il corso verso Rio di Janeiro per alcuni giorni dopo le osservazioni lunari sovra descritte, e giunti a quindici o venti miglia di distanza dalla costa, voltai alle quattro del mattino finchè il giorno spuntasse, e poi proseguii il mio cammino, perchè, sebbene l'aria fosse nebbiosa, potevamo vedere innanzi per un paio di miglia. Alle ore otto circa la nebbia si fece così densa, che io dubitai di dovermi innoltrare maggiormente, e me ne stava appunto per ordinare che si ammainasse prima di mandar la mia gente a colezione, quando a un tratto la nebbia si dileguò, ed ebbi la satisfazione di vedere la gran rupe piramidale detta Pane di zucchero, posta da una parte della bocca del porto, starci così direttamente in faccia, che non si dovette alterare il nostro corso di più di un punto per afferrare l'ingresso del Rio. Questa era la prima terra che avevamo veduta da tre mesi, dopo di aver navigato per tanti mari e di essere stati spinti innanzi e indietro da correnti innumerevoli e da venti contrari ». Si può comprendere che l'effetto ha dovuto essere elettrico per tutti coloro che erano a bordo; ed è inutile l'osservare quanto l'autorità di un capitano sul suo equi-

paggio debba essere rinforzata da questi fatti, i quali indicano un grado di sapere e conseguentemente un potere al tutto fuori del comune.

22. Ma anche questi risultamenti, sorprendenti quai sono, non giungono alla forza con la quale siamo penetrati da convincimento quando, per mezzo di un raziocinio troppo astratto per essere comunemente inteso, arriviamo a conclusioni che vanno al di là della sperienza, e descrivono anticipatamente ciò che accadrà sotto nuove combinazioni, o correggono sperimenti imperfetti, e ci conducono ad una conoscenza di fatti contrari alle ricevute analogie tratte da una sperienza malamente interpretata o con troppa fretta generalizzata. Per esempio: — Tutti sanno che gli oggetti veduti a traverso un corpo trasparente, come l'acqua o il vetro, sembrano torti o fuori di luogo. Così un bastone nell'acqua sembra curvato, ed un oggetto veduto a traverso un prisma o una verga di vetro sembra rimosso dal suo vero luogo. Questo effetto è prodotto da ciò che si chiama *rifrazione* della luce; ed una semplice regola scoperta da Willebrod Snell rende chicchessia capace di dire di *quanto* il bastone sarà per comparire ricurvo, e *sino a qual punto* e in qual *direzione* la posizione apparente di un oggetto, veduto a traverso il vetro, devierà dalla vera. Se uno scellino vien posto in fondo a una catinella d'acqua ed è guardato obbliquamente, esso sembrerà innalzato; se in vece d'acqua s'impiegherà spirito di vino, apparirà più alto ancora; e parrà di vederlo sorgere maggiormente se si farà uso di olio; ma in nessuno di questi casi comparirà rimosso *da una parte*,

sia a *diritta* o a *sinistra*, dal suo vero luogo, comunque l'occhio sia situato. Il *piano* in cui sono contenuti l'occhio, l'oggetto, e il punto nella superficie del liquido al quale l'oggetto è veduto, è un piano *verticale;* e questo è uno dei principali caratteri nella *rifrazione ordinaria* della luce, che il raggio per cui vediamo un oggetto a traverso una superficie refrangente, quantunque sia soggetto a far un angolo, e sia, per così dire, rotto alla superficie, tuttavia nel proseguire il suo corso verso l'occhio non abbandona *un piano perpendicolare alla superficie refrangente.* Ma vi sono altre sostanze, come il cristallo di rocca, e specialmente lo *spato* d'Islanda, che posseggono la singolare proprietà di raddoppiare l'imagine o l'apparenza di un oggetto veduto per loro mezzo in certe direzioni; dimodochè invece di vedere un oggetto ne vediamo due allato l'uno dell'altro, allorchè quel cristallo o spato è interposto fra l'oggetto e l'occhio; e se un raggio è diretto sulla superficie di una di queste sostanze, esso sarà diviso in due, facienti un angolo l'uno coll'altro, e ciascun d'essi proseguirà separatamente il suo corso; — il che si chiama *doppia rifrazione.* Ora di queste imagini o raggi doppiamente rifratti, *uno* seguita sempre la stessa legge come se la sostanza fosse vetro od acqua; la sua deviazione può essere correttamente calcolata colla sopra citata legge di Snell, e non abbandona il piano perpendicolare alla superficie refrangente. L'altro raggio al contrario (che si dice perciò aver subito una *rifrazione straordinaria*) *abbandona* quel piano, e la misura della sua deviazione dal suo primiero corso richiede per la sua

determinazione una regola assai più complicata, la quale non può essere espressa non che intesa senza un'intima conoscenza della geometria. Ma il cristallo di rocca e lo spato d'Islanda differiscono dal vetro in una circostanza assai notevole. Essi prendono naturalmente certe figure regolari, non accadendo di trovarli a pezzi informi, ma in forme geometriche determinate; e sono atti a sfaldarsi o ad essere divisi più facilmente in certe direzioni che in altre,—essi hanno una *grana* che il vetro non ha. Allorchè altre sostanze aventi questa particolarità (e che sono chiamate sostanze cristallizzate) furono sottoposte ad esame, tutte, o in grandissima parte, furono trovate possedere questa proprietà singolare della *doppia rifrazione;* ed era perciò cosa assai naturale il conchiudere che lo stesso fenomeno avesse luogo in tutte, cioè che un solo dei due raggi, in cui un raggio di luce cadente sulla superficie di una tale sostanza era diviso, o una sola delle due imagini di un oggetto veduto a traverso di essa, uscisse del suo *piano* e *straordinariamente* si rifrangesse, mentre l'altro o l'altra seguiva la regola *ordinaria.* Si suppose pertanto che la cosa stesse in questi termini; e non solamente si suppose, ma dietro alcuni sperimenti ed alcune misure espressamente fatte da un filosofo di gran fama si considerò che questo fatto fosse sufficientemente stabilito dall' esperienza.

23. Forse saremmo rimasti lungamente in questa idea, perchè le misure sono delicate e il soggetto assai difficile. Ma non è molto che il sig. Fresnel, filosofo e matematico francese di grido, ha dimostrato

che, supposti e concessi certi *principii*, tutti i fenomeni della doppia rifrazione, inchiudenti per avventura la maggior varietà di fatti che siano stati disposti sotto un sol capo generale, possono essere spiegati in un modo soddisfacente e dedotti da quelli per mezzo di un rigoroso calcolo matematico; e *che*, applicati ai casi dapprima mentovati, questi principii danno una ragione soddisfacente della *mancanza* dell'imagine straordinaria; *che* applicati ai casi simili, a quelli del cristallo di rocca o dello spato d'Islanda, essi spiegano pure correttamente le due imagini, e vanno d'accordo nelle loro conclusioni con le regole già intorno ad esse accertate; ma lungi dal coincidere con quella parte della massima che vorrebbe estendere queste conclusioni a tutte le sostanze cristallizzate, i principii del signor Fresnel menano ad una conclusione tutta opposta, ed indicano un fatto che non era mai stato osservato, cioè che nella massima parte delle sostanze cristallizzate le quali posseggono la proprietà della doppia rifrazione, *nè l'una nè l'altra* delle imagini seguita la legge ordinaria, ma entrambe subiscono una deviazione dal loro *piano* originale. Ora questo non era mai stato osservato in alcuno degli sperimenti anteriori, e l'opinione di tutti vi era contraria. Ma allorchè fu posto alla prova degli sperimenti con una gran varietà di nuovi ed ingegnosi metodi, si trovò che era pienamente giustificato; e per compiere la prova, le sostanze, sull'esame imperfetto delle quali le prime erronee conclusioni erano fondate, essendo state recentemente sottoposte ad una nuova e più scrupolosa disamina, il risultato dimostrò l'insufficienza

dei primi misuramenti, e apparve perfettamente concorde con le leggi novellamente scoperte. Osservisi pertanto in questo caso, primieramente che i principii dai quali è partito il sig. Fresnel, lungi dall'essere in alcun modo ovvii, sono al contrario molto remoti dall'osservazione ordinaria: e in secondo luogo che la concatenazione del raziocinio col quale sono ridotti a prova, è così lunga e così complessa, e la difficoltà della loro applicazione puramente matematica è così grande, che nessun buon senso, nè tatto generale o ragionamento pratico ordinario, potrebbe da sè solo porgere la menoma probabilità di seguire il filo di un tal labirinto. — Casi simili a questi fanno trionfar le teorie. Essi mostrano ad un tratto quanto sia ampia la parte che spetta alla pura ragione nell'esame della natura, e quanto dovrebbe essere implicita la nostra confidenza in quel potente e regolare sistema di norme e di metodi che costituiscono la moderna analisi matematica, in tutte le più difficili applicazioni di un calcolo esatto ai fenomeni naturali.

24. Produciamo un novello esempio adattato ad un'intelligenza ordinaria. Un riputato geometra aveva provato per mezzo di calcoli, fondati sopra rigorosi principii ottici, che *nel centro dell'ombra* di un picciolo piattello circolare di metallo, esposto in una stanza oscura ad un raggio di luce che emani da un *picciolissimo punto risplendente*, non vi dovrebbe essere oscurità; — cioè, *nessun'ombra* in quel luogo, ma al contrario un grado d'illuminazione precisamente di quella forza che vi si vedrebbe se il piattello non esistesse. Per istrana ed anche impossibile che questa

conclusione possa parere, fu sottoposta ad esperimento e trovata perfettamente giusta (1).

25. Ci faremo adesso a considerare più specialmente e ne' loro particolari, —

1° La natura e gli oggetti immediati e collaterali della scienza fisica, riguardata in se stessa, nella sua applicazione agli usi pratici della vita, e nella sua influenza sul ben essere e sul progresso della società.

2° I principii che fissano i metodi d'indagine, e le norme secondo le quali un esame sistematico della natura dovrebbe essere regolato, con esempi illustrativi della loro influenza.

3° La suddivisione della scienza fisica in parti distinte e le loro relazioni vicendevoli.

---

(1) Dobbiamo avvertire i lettori che volessero farne la prova, che questo sperimento è alquanto delicato, e da non farsi senza parecchie precauzioni per assicurarne il buon esito. Per queste ci riferiremo alla nostra autorità originale (Fresnel. *Mémoire sur la diffraction de la lumière*, pag. 124).

CAPITOLO III

Della natura e degli oggetti immediati e collaterali della scienza fisica, riguardata in se stessa, nella sua applicazione agli usi pratici della vita e nella sua influenza sul ben essere e sul progresso della società.

26. La prima cosa che sin dalla più tenera infanzia ci viene impressa nella mente è questa, che gli avvenimenti non si tengono dietro l'uno l'altro a caso, ma con una certa gradazione di ordine, di regolarità e di connessione; — alcuni costantemente, e siamo inclinati a credere, immutabilmente, — come l'alternare del giorno e della notte, della state e dell'inverno, altri contingentemente, siccome il movimento di un corpo dal suo luogo se urtato, o l'ardere di un ramoscello se gettato nel fuoco. — Il sapere che la prima specie di avvenimenti ha continuato senza interruzione per secoli oltre ogni memoria, ci fa fermamente aspettare che proseguirà a far lo stesso nel medesimo modo; e così la nostra nozione di un ordine della natura ha la sua origine e la sua conferma. Se ogni cosa fosse egualmente regolare e periodica, e se la successione degli avvenimenti non fosse soggetta ad alcun cambiamento dipendente dalla nostra volontà, si potrebbe dubitare se ci cadrebbe in mente d'indagare alcuna causa. Niuno riguarda la notte come la causa

del giorno, o il giorno della notte. Essi sono gli effetti alterni di una causa comune che la loro sola successione regolare non ci dà indizio sufficiente per determinare. Egli è principalmente, e forse intieramente, dall'altra classe contingente di avvenimenti che ricaviamo le nostre nozioni di causa e di effetto. Da questi soli argomentiamo che vi siano leggi della natura. L'idea stessa di una legge contiene quella di una contingenza. « *Si quis mala carmina condidisset, fuste ferito:* » Se una tal cosa accade, si seguirà la tal norma, — se si applicherà l'esca accesa alla polvere, questa scoppierà. — Ogni legge è un provvedimento per casi che *possono* occorrere; ed ha relazione con un infinito numero di casi che non sono mai accaduti e mai non accadranno. Ora è questo provvedimento *a priori* per contingenze, questa contemplazione di avvenimenti possibili, questa predisposizione per ciò che potrà accadere, che fa nascere in noi l'idea di una *legge* e di una *causa*. Fra tutte le combinazioni possibili dei cinquanta o sessanta elementi che la chimica insegna esistere sulla terra, egli è probabile anzi quasi certo, che *alcune* non ebbero mai luogo; che alcuni elementi, in certe proporzioni, ed in certe circostanze, non sono mai stati posti in relazione l'uno coll'altro. Ciò non pertanto nessun chimico può dubitare che non sia *già stabilito* quale sia per essere l'effetto allorchè il caso sarà per occorrere. Essi obbediranno a certe leggi, di cui non sappiamo nulla presentemente, ma che *debbono già essere* stabilite, o non sarebbero leggi. Essi non impareranno nè per abito, nè per isperimenti e tentativi falliti ciò che debbe seguire.

Quando la contingenza occorrerà, non vi sarà titubanza, non consultazioni; — il loro corso sarà a un tratto deciso, e sarà sempre lo stesso, qualunque sia il numero delle volte che successivamente accada e quello dei luoghi in cui segua in uno e medesimo istante. Questa è la perfezione di una legge, l'inchiudere tutte le possibili contingenze e l'assicurare un'implicita obbedienza, — e di questo genere sono le leggi della natura.

27. I nostri lettori comprenderanno tuttavia naturalmente che l'uso di questa parola *legge* ha relazione al nostro *intendere* certe regole, piuttosto che all'*obbedirvi* per parte dei materiali che compongono l'universo. *Obbedire* ad una legge, agire in obbedienza ad una regola, suppone un intelletto ed una volontà; un potere di acconsentire o no nell'essere che obbedisce ed acconsente, cose che non ammettiamo appartenere alla semplice materia. L'Autore Divino dell'universo non può aver creato leggi particolari, enumerando tutte le contingenze individuali, cosicchè i materiali le abbiano intese e vi obbediscano, il che sarebbe un attribuirgli le imperfezioni della legislazione umana; ma piuttosto nel crearli dotati di certe qualità e facoltà fisse, vi ha nella loro origine impresso lo *spirito* e non la *lettera* della sua legge, e rese tutte le loro susseguenti combinazioni e relazioni conseguenze inevitabili di questa prima impressione; sebbene con questo non vogliamo che si supponga che per noi si neghi il costante esercizio del suo diretto potere a conservare il sistema della natura, o l'ultima emanazione di ogni energia che gli agenti materiali spiegano se-

condo la sua immediata volontà, operando conformemente alle sue leggi.

28. Le scoperte della moderna chimica hanno fino ad un certo grado stabilita la verità di una opinione professata da alcuni degli antichi, che l'universo è composto di *atomi* distinti, separati, indivisibili, o di esseri individuali così minuti da sfuggire ai nostri sensi, tranne quando sono uniti a milioni, e con quest'aggregazione formano corpi, anche del più picciolo volume che sia visibile; ed abbiamo la prova più convincente che sebbene esistano grandi ed essenziali differenze fra gl'individui di questi atomi, essi possono tuttavia esser tutti disposti in un limitatissimo numero di classi, di ciascuna delle quali ogni individuo è per ogni effetto *esattamente simile* in tutte le sue proprietà. Ora, quando veggiamo un gran numero di cose precisamente simili, non crediamo che questa somiglianza abbia avuto origine da altro se non da un principio comune indipendente da esse; e il riconoscere che noi facciamo questa somiglianza, principalmente per l'identità del loro diportamento in circostanze simili, rinforza più che non indebolisce la conclusione. Una linea di piccioli arcolai (1) o un reggimento di soldati vestiti in un modo esattamente simile, facienti precisamente le medesime evoluzioni, non ci dà un'idea di un'esistenza indipendente; convien vederli agire separatamente e fuori d'accordo, prima che possiamo crederli dotati di volontà e di proprietà indipendenti, e non comunicate dal di fuori. E questa

(1) Quali si usano nelle filature di cotone.

conclusione che sarebbe fondata quand'anche vi fossero soltanto due individui precisamente simili in *tutto* e *per sempre*, acquista una forza irresistibile quando il loro numero è moltiplicato al di là di ciò che l'immaginazione possa concepire. Se non erriamo adunque, le scoperte di cui parliamo distruggono l'idea di una *materia eterna e per sè esistente*, col dare a ciascuno de' suoi atomi i caratteri essenziali ad un tempo di *cosa fabbricata*, e di *agente subordinato*.

29. L'ascendere all'origine delle cose, e lo specolare sulla creazione, non è cosa che appartenga al filosofo naturale. Un campo più umile gli basta nel suo tentativo di scoprire, per quanto le nostre facoltà lo permettono, quali *siano* queste primarie qualità originalmente e inalterabilmente impresse alla materia, e di discernere lo *spirito* delle leggi della natura, che inchiude gruppi e classi di relazioni e di fatti, dalla *lettera* la quale, siccome si è osservato, ci è rappresentata da separati fenomeni: o, se questo fosse impossibile, se questo passo eccedesse le nostre facoltà, e le qualità essenziali degli agenti materiali fossero realmente *occulte*, o non esprimibili in alcuna forma intelligibile alle nostre menti, di avvicinarci al loro comprendimento quanto permetterà la natura del caso, e d'inventare tali forme di parole che comprendano e *rappresentino* la maggiore moltitudine e varietà possibile di fenomeni.

30. Ma in quest'inquisizione pare che si presenti una gran quistione da sciogliere prima che le nostre ricerche possano pur essere intraprese con qualche speranza di buon esito, e questa è: se le leggi stesse

della natura *hanno* quel grado di permanenza e di stabilità che si richiede perchè siano soggetto di una discussione sistematica; o veramente se da un'altra parte le qualità degli agenti sono soggètte a mutazione per lo scorrere del tempo. Per gli antichi, i quali vivevano nell'infanzia del mondo o, per dir meglio, nell'infanzia della sperienza umana, questo era un soggetto di quistione assai razionale, quindi le loro distinzioni tra la materia corruttibile e l'incorruttibile. Così, secondo alcuni di loro, la sola materia degli spazi celesti è pura, immutabile ed incorruttibile, mentre tutte le cose sublunari sono in uno stato costante di decadimento e di mutazione, il mondo divenendo per vecchiezza parlètico e sfruttato, e l'uomo stesso peggiorando in carattere e scemando ad un'ora in intellettuale e corporale altezza. Ma per noi, che abbiamo la sperienza di alcune migliaia d'anni più di essi, la quistione di permanenza è già sino ad un certo punto decisa affermativamente. Le sottili specolazioni della moderna astronomia, fondando le loro conclusioni sopra osservazioni fatte a remotissimi periodi, hanno provato sino all'evidenza che uno almeno dei gran poteri della natura, la forza di gravitazione, legame e sostegno precipuo dell'universo materiale, non ha sofferto alcun cambiamento nell'intensità da un'antichità assai lontana. La statura degli uomini è la stessa di tre mil'anni fa, siccome le mummie che sono state esaminate in vari tempi sufficientemente dimostrano. L'intelletto di Newton, di Laplace e di Lagrange può giustamente esser posto a paralello con quello di Archimede, di Aristotile o di Platone: e le virtù e il pa-

trio amore di Washington possono stare a confronto de' più begli esempi della storia antica.

31. Inoltre, le ricerche dei chimici hanno dimostrato che ciò che il volgo chiama corruzione, distruzione ecc., non è altro che un cambiamento di disposizione degli stessi elementi ingredienti, un passaggio degli stessi materiali in altre forme, senza la perdita o distruzione di un solo atomo; e così ogni dubbio della permanenza delle leggi naturali è scartato, e tutto il peso delle *apparenze* è gettato nell'opposta bilancia. Uno dei casi più ovvii di distruzione è quello di una cosa ridotta in polvere e dispersa dai venti. Ma altro è il ridurre un corpo in polvere, altro è l' annientarne i materiali: sieno pure dispersi, essi debbono cadere in qualche luogo e continuare, anche come semplici ingredienti del suolo, a riempiere la loro umile ma utile funzione nell'economia della natura. La distruzione prodotta dal fuoco è più sorprendente: in molti casi, come nell'ardere di un pezzo di carbone o di una torcia, non vi è fumo, nulla che sia visibilmente dissipato e portato via; il corpo che arde si consuma e sparisce, mentre nulla *sembra* esser prodotto se non calore e luce, che non siamo avvezzi a considerare come sostanze; e allorchè tutto è sparito, tranne forse qualche poca cenere, noi naturalmente supponiamo che il corpo è svanito, perduto, distrutto. Ma quando la quistione è esaminata più rigorosamente, scopriamo nell' invisibile corrente di aria riscaldata che ascende dal carbone ardente o dall' accesa cera, *tutta* la materia ponderabile, unita solamente in una nuova combinazione coll' aria ed in essa disciolta. Tut-

tavia, lungi dall'essere perciò distrutta, la materia è solamente divenuta di bel nuovo ciò che era prima che esistesse nella forma di carbone o di cera, cioè un agente attivo nell'operosità del mondo, uno dei sostegni principali della vita vegetale e animale, ed è ancora atta a percorrere più volte lo stesso circolo, secondochè le circostanze determineranno; dimodochè, per quello che da noi si sappia in contrario, lo stesso atomo identico può giacere nascoso per migliaia di secoli in una rupe calcarea; può finalmente esser tratto fuori dalla petriera, reso libero nella calcara, mescolarsi coll'aria, essere assorbito da qualche pianta, e successivamente divenir parte dei corpi di migliaia d'esseri viventi, finchè qualche concorso di avvenimenti lo restituisce ad un lungo riposo, che tuttavia non lo fa inetto a riprendere di nuovo la sua primiera attività.

32. Quest'assoluta impossibilità dei materiali elementari del mondo di esser distrutti, in periodi di tempo limitati alla nostra esperienza, e il loro ritenere ostinatamente le stesse proprietà, sotto qualunque varietà di circostanze che li poniamo, sebbene violente ed in apparenza contraddittorie alla loro natura, basta da se stessa per rendere altamente improbabile che il tempo solo possa influire su di essi. Tutto ciò che l'età o il decadimento può operare sembra ridursi ad un consumo di parti che sono solamente dissipate e non distrutte, o in un cambiamento di proprietà sensibili, che la chimica dimostra nascere soltanto da nuove combinazioni dei medesimi ingredienti. Ma infine la quistione è tutta di sperienza; non

possiamo esser sicuri *a priori* che le leggi della natura sono *immutabili;* ma possiamo assicurarci per mezzo d'investigazioni *se si cambino o no;* e a questa ricerca tutta la sperienza risponde negativamente. Certamente non s'intende qui di negare che vaste operazioni produttrici di gran cambiamenti nello stato visibile della natura, — quali sono, per esempio, quelle contemplate dai geologi ed abbraccianti vasti periodi di tempo pel loro compimento, — si stanno continuamente operando; ma queste sono conseguenze e adempimenti delle leggi della natura, e non contraddizioni ed eccezioni a quelle. Nessun teorico riguarda questi cambiamenti come alterazioni nei principii fondamentali della natura; egli procura solamente di riconciliarli con quelli, e di mostrare come risultino da leggi già conosciute, e giudica dell'esattezza della sua teoria dal loro accordo finale.

33. Ma le leggi della natura non solo sono permanenti, ma conseguenti, intelligibili, e possibili a scoprirsi con moderate ricerche più atte a stimolare che a stancare la curiosità. Se, come creature di un altro mondo, fossimo posti in una società esistente d'uomini, e ci facessimo ad osservare le loro azioni, da principio proveremmo difficoltà ad assicurarci del loro essere soggetti ad alcuna legge; ma allorquando gradatamente avremmo trovato che essi medesimi si reputano in tal condizione, ci metteremmo a indagare dalla loro condotta e dalle sue conseguenze, quali sono queste leggi e con qual intenzione sono concepite. E quantunque incontreremmo, per avventura, poca difficoltà nello scoprire regole particolari applicabili

a casi particolari, tuttavia tostochè vorremmo generalizzare, e tentare di ascendere a passo a passo da queste, per iscoprire un principio costantemente prevalente, la massa delle cose incongrue, assurde e contraddicenti, che ci si parerebbe dinanzi, o ci scoraggiarebbe da ulteriori ricerche o ci persuaderebbe che la cosa da noi cercata punto non esiste. — Il contrario accade nella natura; in essa non troviamo contraddizioni, non assurdità, ma tutto vi è armonico. Ciò che impariamo una volta non l'abbiamo mai a disimparare. In proporzione che le regole divengono generali, le eccezioni apparenti si fanno regolari; e l'equivoco nella sua sublime legislazione è inaudito quanto il mal governo.

34. Vivendo pertanto in un mondo in cui tali leggi esistono, e posti sotto il loro immediato dominio, egli è manifestamente della massima importanza il conoscerle, non fosse per altro che per esser sicuri di avere almeno la legge dal canto nostro in tutto ciò che intraprendiamo, affine di non lottare invano contro qualche insuperabile difficoltà oppostaci da cause naturali. Quali fatiche e quali spese non avrebbero, per esempio, risparmiate gli alchimici se avessero conosciute quelle semplici leggi di composizione e di decomposizione, le quali escludono adesso ogni idea di poter asseguire l'oggetto delle loro ricerche! quanto ingegno sprecato nel cercare il moto perpetuo potrebbe essere stato impiegato in miglior uso, se le più semplici leggi della meccanica fossero state conosciute e seguitate dagli inventori degl'innumerevoli ordigni a quel fine destinati! quanti patimenti inflitti ad infermi da cure

imaginarie di malattie incurabili, potevano essere risparmiati, se alcuni pochi principii di fisiologia fossero stati prima riconosciuti!

35. Ma se le leggi della natura sono da una parte opponenti invincibili, dall'altra sono ausiliari irresistibili; e non sarà fuor di proposito di riguardarle sotto ciascuno di questi caratteri, e il considerare la grand'importanza del conoscerle pel genere umano, — in quanto che,

1° *Ci mostrano come si debba evitare di tentar cose impossibili.*

2° *Ci guarentiscono da errori importanti nel tentare ciò che per se stesso è possibile, impiegando mezzi non adeguati o direttamente contrari al fine proposto.*

3° *Ci mettono in grado di ottenere il nostro fine nel modo più facile, più breve, più economico e più efficace.*

4° *C'inducono a tentare, e ci danno i mezzi di eseguir cose, che senza una tal cognizione non avremmo mai pensato d'intraprendere.*

Procederemo pertanto ad illustrare con esempi l'effetto delle fisiche cognizioni sotto ciascheduno di questi capi: —

36. Es. 1. (35 1°). Non sono molti anni che si fece un tentativo di aprire uno scavo di carbon fossile a Bexhill nella contea di Sussex. L'apparire di picciole vene e di piccioli strati di legno fossile e di carbone di legno, con alcune altre indicazioni simili a quelle che occorrono nelle vicinanze dei grandi strati di carbone nel settentrione dell' Inghilterra, avendo indotto a scavare il solito pozzo e ad eriger macchine in modo

grandioso e di grave dispendio, non meno di ottantamila lire sterline (due milioni di franchi) furono impiegate, a quel che si dice, in un'impresa, la quale non occorre quasi di accennare come andasse compiutamente fallita, siccome qualunque geologo avrebbe sin dal principio potuto predire, stante che la riunione di tutti i fatti geologici è contraria all'esistenza di uno strato regolare di carbone *nella spiaggia sabbiosa* di Hastings, mentre questa, su cui Bexhill è posta, è separata dagli *strati di carbone* da una serie di strati interposti di una spessezza così enorme, da rendere assurda ogni idea di poterli attraversare. La storia delle miniere è piena di casi simili, in cui una leggiera conoscenza del solito *ordine della natura*, per non parlare degl'insegnamenti teorici, avrebbe salvato più di un arrischiato avventuriere da una totale rovina.

37. Es. 2. (35 2°). La fondita del ferro richiede l'applicazione del più violento calore che si possa ottenere, e si procura ordinariamente in alte fornaci, animate da gran mantici di ferro messi in moto da macchine a vapore. Invece d'impiegare questo potere a spinger l'*aria* nella fornace per mezzo di mantici, si tentò in un caso d'impiegare il *vapore* medesimo in una maniera più diretta: cioè col rivolgere a dirittura la corrente del vapore con un soffio violento dalla caldaia nel fuoco. L'uno dei noti ingredienti del vapore essendo un corpo altamente infiammabile, e l'altro essendo quella parte essenziale dell'aria che favorisce la combustione, si era immaginato che questo metodo produrrebbe l'effetto di accrescere al decuplo la furia

del fuoco, invece che lo *estinse;* risultamento che una breve considerazione delle leggi della combinazione chimica, e dello stato in cui gli elementi ingredienti esistono nel vapore, avrebbe posto chicchessia in grado di predire senza sperimento.

38. Es. 3. (35 2°). Dopo l'invenzione della campana da palombaro, e il suo felice esito nelle operazioni sott'acqua, si stimò che fosse grandemente desiderabile il trovar qualche mezzo di rimanere sott'acqua per un tempo indeterminato e di sorgere a piacimento senz'assistenza, affine di poter esaminare agiatamente il fondo, e farvi qualunque operazione vi si richiedesse. Alcuni anni sono, un ingegnoso individuo propose un metodo per cui questo fine poteva, secondo lui, essere ottenuto. Esso consisteva nell'affondare il corpo di una nave reso impenetrabile all'acqua, con la tolda e coi fianchi fortemente armati di puntelli, e coll'unico ingresso assicurato da una robusta botola, in maniera tale che, alleviandolo dal di dentro dei pesi impiegati per affondarlo, potesse alzarsi da se stesso alla superficie. Per rendere lo sperimento più soddisfacente e il risultato più curioso, il proponente fece egli stesso la prima prova. Si fu d'accordo che dovesse affondarsi in venti braccia d'acqua e innalzarsi senz'assistenza dopo spirate ventiquattro ore. Epperò, assicurata ogni cosa, chiusa ben bene la botola, e provveduto di tutto il necessario, come pure dei mezzi di far segnali per indicare il suo stato, l'infelice vittima della propria invenzione fu calata a fondo. Nessun segnale fu fatto, e il tempo stabilito trascorse. Un concorso immenso di persone si era radunato per

esser presente al suo sorgere, ma invano; poichè la nave non fu mai più veduta. La pressione dell'acqua a quella gran profondità era stata, senza dubbio, compiutamente mal calcolata, e i fianchi della nave venendo ad essere a un tratto schiacciati, l'infelice inventore perì prima ancora che potesse fare il segnale convenuto per indicare il suo pericolo.

39. Es. 4. (35 3°). Nelle cave di granito presso Seringapatam i pezzi più enormi sono separati dalla solida roccia con questo semplice e bel metodo. L' operaio avendo trovato una parte di roccia sufficientemente estesa e posta presso all'orlo di quella già scavata, ne scuopre la superficie e vi segna una linea nella direzione della voluta separazione, lungo là quale si taglia con lo scalpello una scanalatura di un paio d'once di profondità. Sopra di questa si accende quindi una striscia di fuoco, mantenendovela finchè la roccia di sotto è ben bene riscaldata; e immediatamente dopo, una fila d'uomini e di donne, tutti provveduti di un orcio pieno di acqua fredda, spazzando prestamente via le ceneri, versano l'acqua nella calda scanalatura, e la roccia a un tratto si spacca con un bellissimo taglio. Pezzi quadrati di sei piedi di lato e di più di ottanta piedi di lunghezza sono talvolta staccati con questo metodo, ovvero con un altro egualmente semplice ed efficace, ma non facile a spiegarsi senza entrare in particolari mineralogici (1).

(1) Una simile massa peserebbe dalle quattro alle cinquecento mila libbre. Vedi il ragguaglio del dottore Kennedy sull' erezione d' un obelisco di granito, di un sol pezzo di circa settanta piedi, a Seringapatam. — *Trans. Fil. Ed.*, vol. IX, pag. 312.

40. Es. 5. (35 3°). Non meno semplice e non meno efficace è il metodo usato in alcune parti della Francia, dove si fabbricano le macine. Quando si trova un masso di pietra sufficientemente grosso, si taglia in forma di cilindro di parecchi piedi di altezza. Fatto questo, si debbe pensare a suddividerlo in tante parti orizzontali quante sono le macine che se ne vogliono ricavare. A quest'oggetto si fanno scanalature tutt'intorno al cilindro, a distanze corrispondenti alla spessezza che si vuol dare alle macine, e vi si piantano dentro zeppe di legno secco. Queste vengono quindi bagnate od esposte all'umidità della notte, e il mattino seguente i diversi pezzi si veggono separati l'uno dall'altro pel dilatamento del legno cagionato dall'umido assorbito; un'irresistibile forza naturale compiendo così, quasi senza fatica dell'uomo e senza spesa, un'operazione che per la durezza e per la natura della pietra non si potrebbe altrimenti praticare se non con l'aiuto di potentissimi ordigni o del più perseverante lavoro.

41. Es. 6. (35 3°). L'ottenere prestamente il nostro intento è soventi volte d'importanza eguale all'ottenerlo con poca fatica e picciola spesa. Vi sono innumerevoli operazioni che, lasciate a se stesse, cioè all'azione ordinaria delle cause naturali, sono bene eseguite, ma con una estrema lentezza, ed in simili casi egli è spesso della massima importanza pratica lo accelerarle. L'imbiancamento della tela, per esempio, eseguito nel modo naturale per mezzo di esposizione al sole, alla pioggia ed al vento, richiede parecchie settimane ed anche mesi interi pel suo compimento;

invece che colla semplice immersione della tela in un liquido, chimicamente preparato, lo stesso effetto è prodotto in poche ore. Tutto il circolo delle arti non è altro in fatto se non un continuo comento su questa parte del nostro soggetto. Gli esempi addotti sono scelti, non per ragione della loro maggiore importanza, ma per la semplicità loro e per la *diretta* applicazione dei principii dai quali dipendono, ai fini che si vogliono conseguire.

42. Ma la mente dell'uomo è così costituita che le sue viste si estendono, e i suoi desideri e i suoi bisogni s'accrescono, in piena proporzione delle facilità con cui gli è dato di appagarli, anzi con crescente rapidità, poichè non prima il felice esercizio delle sue facoltà ha ottenuto una semplificazione considerevole ed un miglioramento di metodi inservienti al suo uso o al suo diletto, egli si mette di bel nuovo all'opera per allargare i limiti del potere novellamente acquistato; ed avendo una volta provato i vantaggi che si derivano dal valersi di qualche potere della natura per compiere i propri disegni, egli è indotto a riguardarli tutti come un tesoro messo a sua disposizione, purchè abbia l'arte, l'industria o la fortuna di penetrare in que' ripostigli che li nascondono alla vista immediata. Avendo una volta imparato a considerare il sapere come *potere*, e a valersene come tale, egli non si contenta più di limitare le sue imprese al sentiere battuto dell'antica consuetudine, ma è costantemente spinto a contemplare oggetti che, in un precedente stato de'suoi progressi, avrebbe riguardati come impossibili a conseguirsi e visionari, se pure vi

avrebbe affatto pensato. Egli è allora che l'investigazione de' poteri nascosti della natura diviene una miniera, ogni vena della quale è gravida d'inesauribile ricchezza, e le cui ramificazioni paiono stendersi in ogni direzione, ovunque i bisogni umani o la curiosità ci conducono ad esplorarla.

43. Fra le scienze fisiche e le arti della vita esiste un costante e mutuo scambio di buoni uffizi, e nessun considerevole progresso può aver luogo in una parte, senza che di necessità si facciano passi corrispondenti nell' altra. Tutte le arti sino a un certo punto, e molte intieramente, dipendono da quegli stessi poteri e da quelle stesse qualità del mondo materiale che l'inquisizione fisica ha per oggetto d'investigare e di spiegare; e per conseguenza si potrebbero addurre copiosi esempi di casi nei quali le osservazioni di esperti artisti, od anche di operai ordinari, sono state cagione della scoperta di qualità naturali, elementi o combinazioni che divennero della massima importanza nella fisica. Così (per darne un esempio) un fabbricante di sapone osserva che il residuo de' suoi ingredienti, esausto l'alkali ricercato, produce una corrosione nella sua caldaia di rame, per cui non sa trovar ragione. Egli lo mette nelle mani d'un chimico scientifico perchè ne faccia l'analisi, e ne risulta la scoperta di uno dei più singolari e più importanti elementi chimici, il *iodio*. Le proprietà di questo, essendo studiate, vengono opportunissimamente ad illustrare e corroborare una quantità di viste nuove, curiose ed istruttive che si fanno appunto strada nella chimica, e ad influire così notevolmente su tutte le parti di questa scienza.

La curiosità è eccitata: si riconosce l'origine della nuova sostanza delle piante marine, dalle cui ceneri si ottiene il principale ingrediente del sapone, e finalmente dalla stessa acqua del mare. Essa viene poscia ricercata in tutta la natura, scoperta nelle miniere di sale e nelle sorgenti saline, ed inseguita, per così dire, in tutti i corpi che hanno un'origine marina; e fra gli altri nella spugna. Un medico (1) si rammenta allora un rimedio adoperato con buon successo nella cura di una delle più tediose e spiacevoli malattie cui l'umana specie sia soggetta, — il gozzo — che infesta gli abitanti de' distretti montagnosi ad un grado fortunatamente in questa nostra terra più favorita non conosciuto, e che si diceva essere stata originariamente vinto colle ceneri di spugna bruciata. Guidato da questa indicazione, egli prova l'effetto dell'iodio su quel malore, e il risultato stabilisce il fatto straordinario che questa sostanza singolare, presa per medicamento, agisce con la maggior prontezza ed energia sul *gozzo*, dissipando i più grossi e i più inveterati in breve tempo, ed operando (non senza fallire qualche volta come tutti i rimedi anche i più approvati) come specifico o antagonista naturale contro quell'odiosa deformità. Egli è così che qualunque addizione alla nostra conoscenza della natura si farà sicuramente tosto o tardi sentire in qualche pratica applicazione, e che il benefizio conferito alla scienza dall'accidentale osservazione o dalla sagacità di una persona stessa nè scientifica nè letterata viene infallibilmente ricom-

(1) Il dottore Coindet di Ginevra.

pensato con usura, quantunque il più delle volte in un modo che a principio non si sarebbe mai immaginato.

44. Ad una simile osservazione, ponderata tuttavia e maturata in una forma razionale e scientifica da una mente profondamente imbevuta dei migliori principii di una sana filosofia, siamo debitori della pratica della vaccinazione, la quale, in ogni paese in cui è stata introdotta, ha efficacemente soggiogato uno dei più orribili flagelli della razza umana, ed in alcuni l'ha totalmente estirpato. Fortunatamente noi conosciamo soltanto per tradizione le stragi del vaiuolo quale esisteva fra noi non più di un secolo fa, e quale tornerebbe infallibilmente ad essere fra pochi anni se si abbandonassero le barriere che questa pratica e quella dell'inoculazione oppongono ai suoi progressi. Appena inferiore a questo terribile flagello su terra, era, settanta od ottant'anni sono, lo scorbuto su mare. I patimenti e la distruzione prodotti da quest' orrida malattia a bordo delle nostre navi, quando, secondo il solito, si spiegava dopo alcuni mesi di navigazione, sembrano ora quasi incredibili. Otto o dieci morti al giorno in una nave mediocremente popolata; cadaveri cuciti entro coperte e rotolanti tra i ponti per difetto di forza o di coraggio nei miseri sopravviventi di gettarli nel mare; ed ogni forma di schifosa e di dolorosa miseria di cui il corpo umano sia capace; tali sono i quadri che i racconti di avventure nautiche in quei tempi continuamente ci presentano (1). Adesso

(1) Giornale di un viaggio ai mari del Sud, ecc. ecc., sotto il

lo scorbuto è quasi compiutamente sradicato dalla marineria, in parte, senza dubbio, per una maggiore e crescente attenzione alla pulizia, al nutrimento e al ben essere generale; ma principalmente per l'uso costante di un semplice e piacevole preservativo, l'acido del limone distribuito in razioni giornaliere. Se la gratitudine del genere umano è per consenso universale giustamente dovuta al filosofo fisico, al cui discernimento e alla cui perseveranza siamo debitori della gran salvaguardia della vita dei fanciulli, essa non dovrà essere dinegata a coloro (1) che con la loro in-

comando del commodoro Giorgio Anson nel 1740—1744, di Tommaso Pascoe. Lond. 1745. Le stragi dello scorbuto erano così tremende che nell'anno 1726 l'ammiraglio Hosier fece vela con sette vascelli di linea per le Indie occidentali, e per due volte perduto ogni individuo, ne morì egli stesso di dolore. Il dottore Johnson nell'anno 1778 descriveva la vita di mare in questi termini: « Quanto al marinaro, quando dalla tolda guardate giù nell'interno, vi vedete l'eccesso della miseria umana. Che affollamento! che immondizia! che fetore! Una nave è una prigione in cui si corre di più il pericolo di essere annegato. Anzi è peggiore in ogni rispetto; peggiore stanza, peggior aria, peggior alimento e peggior compagnia! » — Smollet che conosceva per esperienza gli orrori della vita di mare in quei tempi, ne fa una viva pittura nel suo Roderick Random.

(1) Il sugo di limone era dugent'anni fa conosciuto come il miglior rimedio per lo scorbuto, siccome appare dagli scritti di Woodall. La sua opera è intitolata « Il Compagno del Chirurgo, ossia Medicina militare e domestica di Giovanni Woodall, maestro in chirurgia; Londra, 1636, pag. 165 ». Nel 1600 il Commodoro Lancaster fece vela dall'Inghilterra con tre altre navi pel Capo di Buona Speranza il dì 2 di aprile, e giunse alla baia Saldanha il 1 di agosto. La nave del Commodoro godeva di una salute perfetta a

telligenza e con le loro osservazioni hanno in questo modo rinforzato i nervi del nostro braccio più potente, e fatto sparire uno dei più tristi mali cui andasse soggetta la più gloriosa di tutte le professioni.

45. Questi ultimi sono tuttavia esempi di semplice osservazione, ristretti al punto immediatamente in

cagione della distribuzione di tre cucchiai di sugo di limone fatta ogni mattina a ciascuno de' suoi, mentre le altre navi erano così tormentate dallo scorbuto che non potevano esser governate per mancanza di braccia, e il Commodoro fu obbligato a mandar uomini per calarvi le vele e per mettere in mare i loro battelli. (Purchas's Pilgrim, vol. 1, pag. 149).

Un dottore di collegio e riputato fisico pubblicò nel 1753 un opuscolo sullo scorbuto di mare, in cui fa avvertire la gran virtù di questo rimedio; e il signor A. Baird, chirurgo della corvetta l' Ettore, dice che dagli effetti veduti a bordo di quella nave, « egli pensa di non poter essere accusato di prosunzione se pronunzia che, propriamente amministrato, questo è un *rimedio infallibilissimo* tanto per curare quanto per preservare dallo scorbuto ». (Vide Trotter, *Medicina Nautica*).

Le precauzioni usate dal capitano Cook ne' suoi celebrati viaggi avevano dimostrato all' evidenza, col loro compiuto buon esito, la possibilità di frenare lo scorbuto nelle più lunghe navigazioni, ma un sistema uniforme di prevenzione in tutta la marineria non era ancora stabilito. Crediamo che la sua *sistematica introduzione nella regola del viver nautico*, per mezzo di un ordine generale dell'ammiragliato, sia dovuta alle rappresentazioni del dottore Blair e di sir Gilberto Blane nella loro qualità di commissari per l'amministrazione de' marinari infermi e feriti, fatte nel 1795. L'effetto di questo saggio provvedimento (naturalmente considerato insieme con le cause generali del miglioramento della pubblica salute) può essere stimato dai fatti seguenti: — Nel 1780 il numero di ammalati di scorbuto ricevuti nello spedale di Haslar fu di 1457; nel 1806 ve ne fu *uno* e nel 1807 *un altro*. Vi sono adesso nella marineria molti chirurghi che non hanno mai veduto questa malattia.

vista, e non aventi altro carattere di scienza fuorchè quello che possono giustamente ricevere da una scelta sistematica del buono, lasciato da parte il cattivo, quando è fondata su di una sperienza accuratamente ponderata. Ma non sono per questo meno appositamente citati come esempi dell'importanza di una conoscenza della natura e delle sue leggi pel nostro ben essere; quantunque, come le grandi invenzioni della bussola e della polvere, non siano stati nella loro origine connessi con viste più generali. Essi sono piuttosto da considerarsi come il prodotto spontaneo di un terreno essenzialmente fertile, che come parte di una serie di raccolti che lo stesso suolo fruttifero, diligentemente coltivato, è capace di dare. La storia dell'iodio sovra riferita è tuttavia un esempio perfetto del modo col quale una conoscenza di proprietà e di leggi naturali, ricavata da fatti non aventi relazione con l'oggetto cui furono poscia applicate, ci mette in grado di spiegare le forze della natura contro lei stessa, e deliberatamente e con premeditazione cercar rimedi contro i pericoli e gl'incomodi che ci assediano. Sotto questo aspetto potremmo far menzione del *parafulmine*, il quale nei paesi in cui le tempeste sono più frequenti e di maggior violenza che non nel nostro, e su mare (dove sono accompagnate da più grave pericolo, sia per la maggiore probabilità di accidente, sia per le sue più terribili conseguenze quando occorre) è un realissimo ed efficacissimo preservativo contro gli effetti del fulmine (1):—la *lanterna di sicurezza*

(1) In tutta la Francia il parafulmine è riguardato come un pre-

per cui camminiamo con luce e sicuri in mezzo ad un'atmosfera più facile a scoppiare che la polvere: — il battello detto di *vita*, che non può affondare, e che presta soccorsi nelle circostanze più affliggenti per l'umanità, il cui principio una recente invenzione promette di stendere alle più grosse navi: — il *faro* cogli stupendi miglioramenti che le lenti di Brewster e di Fresnel, e la leggiadra lampada del tenente Drummond, hanno prodotto e promettono di produrre con le loro maravigliose potenze, l'una di dare la luce più intensa che sia conosciuta, le altre di portarla raccolta alle più gran distanze: — la scoperta della qualità del *cloro* che toglie le infezioni, e la sua applicazione alla distruzione dei miasmi e del contagio: — quella della *chinina*, principio essenziale in cui risiedono le qualità febbrifughe della china, scoperta di cui la posterità sentirà tutto il benefizio, e che ha già cominciato a diffondere un bene ed una salute *comparativa* in regioni quasi desolate da pestifere esalazioni (1); e se desistiamo dall'enumerazione, egli non

zioso ed utile stromento: e in quelle parti della Germania in cui le tempeste sono ancor più comuni e tremende, il suo uso è divenuto quasi universale. In Monaco di Baviera v'ha appena una casa moderna che ne sia sprovveduta, e la costruzione n'è migliore della nostra, impiegandovisi parecchi fili di rame attorcigliati in forma di corda.

(1) Siam stati informati da un fisico romano di grido (il dottor Morichini) che una gran quantità di solfato di chinina vien fabbricata in Roma ed è consumata nella *Campagna*, con effetto evidente di mitigazione della severità delle malattie prodotte dalla *malaria* cui i suoi abitanti vanno soggetti.

è già perchè la lista sia esaurita, ma perchè intendiamo di dare qualche esempio e non un catalogo.

46. Aggiungeremo tuttavia un altro fatto per illustrare la maniera con la quale un effetto familiarissimo che sembrava soltanto destinato ad essere un passatempo di fanciulli, o al più a somministrare un balocco filosofico, può divenire un protettore della vita umana ed un rimedio per un male gravissimo. Nelle manifatture di aghi gli operai che gli aguzzano sono costantemente esposti a particelle minutissime di acciaio che volano via dalle mole, si mescolano, benchè impercettibili all'occhio, come la più fine polvere nell'aria, e sono colla respirazione inghiottite. L'effetto benchè appena sensibile per chi vi si espone per breve tempo, venendo ad essere continuamente ripetuto l'un giorno dopo l'altro, produce una irritazione costituzionale, dipendente dalle proprietà toniche dell'acciaio, che termina necessariamente in una consunzione polmonare; talmente che le persone impiegate in questo genere di lavoro raramente giungevano all'età di quarant'anni (1). Invano si tentò di purificar l'aria, prima della sua introduzione nei polmoni, per mezzo di un velo o di una difesa di tela alla bocca; la polvere era troppo fine e troppo penetrante per essere arrestata da questi grossolani spedienti, finchè qualche persona ingegnosa si ricordò di quel maraviglioso potere di cui si vede l'effetto quando un fanciullo cerca colla calamita l'ago della madre che sia caduto, o ammira i movimenti e le varie dispo-

(1) Memorie della Società medica, del dottor Johnson, vol. v.

sizioni e figure di poca limatura d' acciaio sopra un foglio di carta che sia tenuto superiormente alla magnete. Maschere di filo d'acciaio calamitato vengono adesso costrutte ed adattate alle facce degli operai. Per mezzo di queste, l'aria non è solamente *feltrata*, ma *purgata* nel suo passaggio, ed ogni atomo nocivo è arrestato e rimosso.

47. Forse non v' ha cosa che più dell' istituzione delle assicurazioni sulla vita ponga in evidenza i vantaggi che si possono derivare da una semplice conoscenza del solito *ordine della natura*, senza alcun tentativo per parte nostra di modificarlo, e indipendentemente da ogni considerazione delle sue cause. Nulla v' ha di più incerto che la vita di un solo individuo; e questo stato d'incertezza è quello che ha dato origine a simili istituzioni. Nella loro natura e nel loro oggetto esse sono precisamente il rovescio delle speculazioni dei giuocatori, essendo dirette, per quanto esse abbracciano, ad equilibrare le vicissitudini ed a mettere le relazioni pecuniarie di numerose masse d'uomini in uno stato d'indipendenza dalla casualità individuale. Per far questo col massimo utile possibile, anzi per farlo con qualche utilità, è necessario di conoscere *le leggi della mortalità,* ossia il numero medio degl'individui che in una gran moltitudine muoiono in ogni periodo della vita dall' infanzia sino all' età più avanzata. A prima vista, questa parrebbe un'investigazione inutile; ad alcuni parrà fors' anche prosontuosa. Ma è stata fatta: e il risultamento ne fu che, lasciando da parte le cause straordinarie, come le guerre, le pestilenze e simili, s' incontra una gran regolarità, più che

sufficiente per somministrare una base, non solamente per un estimo generale, ma per calcoli esatti di rischio e di accidente, tali da assicurare infallibilmente l'esito di qualunque istituzione di questa fatta, fondata sopra un computo ben diretto; e così dare una tale stabilità alle sostanze delle famiglie dipendenti dalle fatiche di un solo individuo, da costituire uno dei benefizi importanti del moderno incivilimento. La sola cosa da temersi in simili istituzioni è la loro troppa moltiplicazione e la concorrenza che ne segue, per cui si può generare fra i loro direttori uno spirito inclinato ai rischi ed al soppiantarsi vicendevolmente, cosa che sarebbe atta a produrre in un vasto e terribile grado quel male stesso, che sono specialmente istituite ad impedire.

48. Sin qui abbiamo solamente considerato alcuni di quei casi, nei quali una conoscenza delle leggi naturali ci somministra i mezzi di migliorare la nostra condizione, ovviando quei mali, di cui, senza il possesso di quella, saremmo per sempre rimasti vittime. Consideriamo adesso egualmente quelli in cui ci è dato di chiamare la natura come nostra ausiliaria, per accrescere la nostra potenza ed abilitarci ad imprese, le quali, senza questo aiuto, sembrerebbero disperate. A questo fine egli è necessario di formarsi una giusta idea di quello che *sono* cotesti nascosti poteri della natura, che possiamo a nostro talento far operare, di quanto trascendano la misura della forza umana, e si ridano degli sforzi non solo degli individui, ma d'intere nazioni.

49. I moderni ingegneri sanno che in uno staio di

carbon fossile bene impiegato havvi una *virtù* atta ad innalzare settanta milioni di libbre all'altezza di un piede. Questo è in fatto l'effetto *medio* di una macchina a vapore presentemente in attività in Cornovaglia (1). Fermiamoci un momento a considerare a che cosa questo sia equivalente in pratica.

50. La salita del Monte Bianco dalla valle di Chamouny è considerata giustamente per l'impresa più faticosa che un uomo robusto possa eseguire in due giorni: La combustione di due libbre di carbon fossile lo porrebbe sulla sommità di quel monte (2).

51. Il ponte di Menai, una delle opere d'arte più stupende che nei tempi moderni siano state erette dalla mano dell'uomo, consiste in una massa di ferro di non minor peso di quattro milioni di libbre, sospesa ad un'altezza media di circa 120 piedi al di sopra del livello del mare. La consumazione di sette staia di carbone basterebbe per sollevarla al luogo dov'è sospesa.

52. La gran piramide d'Egitto è costrutta di granito. Essa ha 700 piedi di larghezza alla base e 500 di altezza perpendicolare, ed occupa undici jugeri (3) di

(1) La macchina di Huel Towan. Vedi il ragguaglio del signor Henwood: « Delle operazioni di alcune macchine a vapore in Cornovaglia durante i mesi di aprile, maggio e giugno 1829 ». Giornale di Brewster, ottobre 1829. La più alta forza media mensuale di questa macchina giunge sino a 79 milioni di libbre.

(2) Tuttavia questa non è una proposizione affatto giusta; il lavoro giornaliero di un uomo corrisponde a 4 libbre di carbone. L'immensa fatica di questa salita proviene da altre cause ovvie e non dalla sola altezza.

(3) L'inglese dice *acres*, misura che qui non occorre di ridurre

terreno. Il suo peso è pertanto di 12,760 milioni di libbre ad un'altezza media di 125 piedi; per conseguenza potrebbe essere sollevata colla forza di circa 630 *chaldrons* (22,680 staia) di carbone, quantità che in alcune fonderie è consumata in una settimana.

53. La consumazione annua di carbone in Londra è stimata a 1,500,000 *chaldrons*. La forza di questa quantità basterebbe a sollevare una massa cubica di marmo, di 2,200 piedi di lato, per uno spazio eguale alla sua altezza, ossia a sovrapporre una montagna di questa fatta su di un' altra. Il Monte nuovo presso Pozzuoli (innalzato in una sola notte da un'eruzione vulcanica) avrebbe potuto essere sollevato, con una simil forza, da una profondità di 40,000 piedi, ossia otto miglia all' incirca.

54. È da osservarsi che nelle supposizioni precedenti la forza inerente del carbone è di necessità moderatamente stimata. Non si pretende dagli ingegneri che l'economia del carbone sia già spinta all'ultimo suo limite, o che tutto il potere effettivo ne sia ottenuto dal presente modo di arderlo; di modo che se dicessimo 100 milioni invece di 70, saremmo probabilmente più vicini al vero.

precisamente nella corrispondente italiana. Così voltiamo pure *bushel* nello *staio*, senza pretendere che l'uno sia esattamente eguale all' altro. Siccome le cose dette dall'autore non sono sperimenti da sottoporsi ad una prova, ma son semplicemente dimostrative, non si è creduto che fosse pregio dell' opera il tenersi ad un' esattezza matematica, ricorrendo ad una scrupolosa riduzione delle misure. Si avverta inoltre che quando si parla di *libbre*, di *piedi* e di *miglia*, si fa sempre allusione alle misure inglesi. — *Nota del Traduttore*.

55. Le potenze del vento e dell'acqua che continuamente impieghiamo in nostro servizio non possono chiamarsi occulte, e tuttavia in generale non si considera bene ciò che per noi vanno operando. Coloro che vorranno avere un' idea del vantaggio che si può ricavar dal vento anche su terra (per non parlare della navigazione), rivolgano lo sguardo all' Olanda. Una gran parte del più prezioso e popoloso tratto di quella contrada giace molto più bassa del livello del mare, e non è salvata dalle innondazioni se non a forza di dicchi. Quantunque questi bastino per respingere i subiti influssi dell' Oceano, non possono impedire l'effetto di quella legge per cui i fluidi, cercando di porsi a livello, s'insinuano a traverso i pori e i canali sotterranei di un suolo leggiero e sabbioso, e mantengono il paese in uno stato costantemente acquitrinoso pel trapelare dell' acqua dal sotto insù. Per ovviare a questa tendenza, come pure per isgombrare le piovane che non hanno uscita naturale, v' ha sui dicchi e sui rialti un gran numero di trombe messe in moto da mulini a vento, che scaricano l'acqua, come si farebbe da una nave sdruscita, e così preservano il paese dall'essere sommerso, valendosi di ogni soffio di vento. Il prosciugamento del lago di Haarlem (1) sembrerebbe un tentativo disperato per chiunque non avesse la macchina a vapore a sua disposizione, o non avesse imparato in Olanda ciò che si possa eseguire

(1) La sua superficie è di circa 40,000 jugeri, e la profondità media è di 20 piedi. Si era proposto di prosciugarlo dividendolo per mezzo di rialti in tante parti più facili ad essere votate dai mulini a vento.

coll'azione costante dell'intermittente ma instancabile forza del vento. Ma l'ingegnere olandese misura la sua superficie, calcola il numero delle sue trombe e, confidando nel tempo e nella sua sperienza sull'operazione dei venti per l'esito della sua impresa, forma coraggiosamente il progetto di asciugare il letto di un mare interno, di cui, stando su di una sponda, non si può veder l'altra (1).

56. Sembra appena necessario di parlare della polvere come di una sorgente di potenza meccanica; tuttavia non giungiamo ad avere una piena idea dell'immensa energia di questo maraviglioso agente, se non quando tentiamo per così dire d'incarcerarlo. Negli sperimenti di Rumford, vent'otto grani di polvere chiusi inuno spazio cilindrico *che esattamente empievano*, spezzarono un pezzo di ferro che avrebbe resistito ad una forza di 400,000 libbre (2), non applicata con meccanico svantaggio.

57. Ma la chimica ci somministra i mezzi di far subitamente agire forze di una natura infinitamente più tremenda di quella della polvere. La terrifica violenza delle diverse composizioni fulminanti è tale da potersi solamente paragonare a quegli animali indomabili, la

(1) Nessuno dubita che l'impresa non sia di possibile riuscita. Otto o nove mila *chaldrons* di carbone bene impiegati basterebbero ad evacuare tutta l'acqua. Ma si dubita se la cosa sarebbe profittevole, e taluni, considerando che alcune centinaia di pescatori i quali si guadagnano il vitto sul lago, rimarrebbero privi di questo mezzo di sussistenza, negano che sia *da desiderarsi*.

(2) « Sperimenti per determinare la forza della polvere accesa ». *Trans. Fil.*, vol. lxxxvii., pag. 254 e seg.

cui forza e la cui ferocia hanno sin qui sfidato il potere dell'uomo, o piuttosto agli spiriti evocati dagl'incantesimi di un mago, i quali manifestano un potere distruttivo e irresistibile, e fanno ch'egli si creda fortunato di chiudere il libro e di rompere la sua verga, a patto di sfuggire sano e salvo dalla tempesta che ha eccitata. Queste potenze non sono ancora soggiogate a nostr'uso, checchè sia per accadere in avvenire: ma nella forza espansiva dei *gassi*, lentamente e a nostro talento sviluppati da chimiche mescolanze, abbiamo un esercito d'inferiori, e tuttavia potentissime forze, atte ad essere impiegate in un gran numero di modi vantaggiosi secondo le occorrenze (1).

58. Tali sono le forze che la natura ci offre per l'esecuzione de'nostri disegni, e che s'appartiene alla meccanica pratica ad insegnarci a combinare ed applicare nel modo più vantaggioso; senza del che la sola facoltà di disporre della forza non monterebbe a nulla. La meccanica pratica è nel suo più nobil senso *un'arte scientifica;* e si può con verità affermare che quasi tutte le grandi combinazioni delle macchine moderne, e molti dei loro raffinamenti e più dilicati miglioramenti, sono creazioni del puro intelletto, traenti la loro origine da un picciolo numero di proposizioni puramente elementari della meccanica teorica e della

(1) Vedi un'ingegnosissima applicazione di questo genere nello scritto del signor Babbage sull'andar sott'acqua, nell'Enciclopedia Metrop. Altre si presenteranno da se stesse. Per esempio, la zavorra di un pallone volante potrebbe consistere in materiali atti allo svolgere grandi quantità di gasse idrogeno in proporzione del loro peso, se materiali di questa natura possono essere trovati.

geometria. Potremmo fermarci lungamente su questo capo, e trovare ampia materia di riflessioni e di maraviglia; ma si richiederebbero biblioteche e non soli volumi ad enumerare e descrivere i prodigi d'ingegno che si sono spiegati in tutto ciò che è connesso con le macchine e con l'arte dell'ingegnere meccanico. Per essi ci è dato di diffondere su tutta la terra i prodotti di qualunque parte di essa; di riempirne ogni angolo di miracoli di arte e di fatica, in iscambio delle sue derrate peculiari; e di concentrare intorno a noi, nelle nostre abitazioni, suppellettili e masserizie, opera dell'ingegno e della mano non di pochi valenti individui, ma di tutti coloro che nelle presenti e nelle passate generazioni hanno contribuito a migliorare i metodi delle nostre manifatture.

59. Le trasformazioni della chimica, per cui si convertono i materiali apparentemente più inutili in oggetti importanti nelle arti, ci aprono ogni giorno sorgenti di ricchezza e di comodi, di cui le età passate non avevano idea, e che sono stati puri doni fatti dalla scienza all'uomo. — Ogni arte ne ha provato l'influenza, e nuovi esempi scaturiscono continuamente a dimostrare i mezzi illimitati che questa maravigliosa scienza sviluppa nelle più sterili parti della natura. Per non parlare dell'impulso che i suoi progressi hanno dato a molte altre scienze, le quali cadranno più particolarmente sotto la nostra considerazione in un'altra parte di questo discorso, che strani ed inaspettati risultamenti non ha essa recati alla luce nella sua applicazione ad alcuni dei più comuni oggetti! Chi, per esempio, avrebbe creduto che cenci di

lino avrebbero potuto produrre *più del loro peso* di zucchero, per la semplice azione di uno dei più abbondanti e dei meno cari fra gli acidi? (1) — Che ossa secche potrebbero essere un magazzino di nutrimento, atto ad essere conservato per anni, e pronto ad offrire il suo sostentamento nella forma più adattata a mantenere la vita, mediante l'applicazione del vapore, quell'agente potentissimo che ha così gran parte nelle nostre operazioni, o di un acido ad un'ora a buon mercato e durevole? (2) — Che la stessa segatura di legno può essere convertita in una sostanza la quale ha un' analogia non remota dal pane; e quantunque certamente meno piacevole al palato che non il pane di farina, tuttavia non ispiacevole ed altrettanto sana e digestibile quanto altamente nutritiva? (3) — Quale economia non è introdotta, in tutte le operazioni in cui s'impiegano agenti chimici, dall'esatta conoscenza delle proporzioni in cui gli elementi naturali si uniscono, e dei loro mutui poteri di rispingersi! Che perfezione in tutte le arti nelle quali s'impiega il fuoco, sia nelle sue più violente applicazioni (come per esempio nella fondita di metalli coll'introduzione di ben adattarsi flussi, per cui si ottiene tutto il prodotto del minerale nel suo più puro stato) oppure nelle più miti forme, come nel raffinamento dello zucchero (la

(1) Il solforico. Bracconot, *Annali di Chimica*, vol. XII, p. 184.

(2) D'Arcet, *Annali dell' Industria*, febbraio, 1829.

(3) Vedi il ragguaglio del dottore Prout intorno agli sperimenti del professore Autenrieth di Tubinga. *Trans. Filos.* 1827, p. 381. Questa scoperta, che rende la carestìa quasi impossibile, merita un maggior grado di celebrità che non ha ottenuto.

cui moderna pratica dipende tutta da una osservazione curiosa e delicata di un chimico scientifico, che fu di grido sul preciso punto di temperatura al quale si opera la cristallizzazione dello sciloppo), e mille altre arti che sarebbe tedioso l'enumerare!

60. Armato di questi poteri e di questi mezzi, non fa maraviglia se lo spirito d'intrapresa conduce l'uomo a concepire e ad eseguir disegni che ad uno non informato del loro fondamento sembrerebbero al tutto sproporzionati alle sue forze. Se fossero stati proposti ad un tratto, certamente gli avremmo rigettati come tali; ma sviluppati, siccome furono, nella lenta successione dei secoli, ci hanno insegnato che cose riguardate come impossibili in una generazione possono diventar facili nella seguente; e che il potere dell'uomo sulla natura è limitato da una sola condizione, cioè dal dover essere esercitato secondo le leggi della natura. L'uomo debbe studiare queste leggi come studierebbe l'indole di un cavallo che volesse cavalcare, quella di una nazione che volesse governare; poichè all'istante che presume di andar contro le sue regole fondamentali, o si arrischia a misurare le proprie forze con quelle della natura, s'accorge tosto, a suo danno, della propria imbecillità e sopporta la pena della sua temerità e della sua follia. Ma se, da un'altra parte, egli vuol consentire ad usare, senza farne abuso, dei mezzi abbondantemente posti in suo potere, ed obbedire per poter comandare, sembra che vi sia appena un limite concepibile al grado in cui la *media* condizione fisica delle grandi masse del genere umano può essere migliorata, i loro bisogni possono

essere soddisfatti, e le loro agiatezze e i loro godimenti accresciuti. Senza abbracciare un'opinione esagerata ed asserire che il più infimo degli uomini viventi in una civile società è superiore in condizione fisica al fiero selvaggio, la cui energia e la cui incolta intelligenza fanno che abbia un predominio naturale sopra gli altri abitatori della foresta, — almeno, se paragoniamo simile con simile, e consideriamo la moltitudine di esseri umani, che in una società incivilita hanno i mezzi di sussistere con un certo comodo e in una certa abbondanza, di cui pochi dei più fortunati in uno stato meno incivilito possono godere, ci sarà chiaro il principio dal quale dobbiamo regolare la nostra estimazione dei vantaggi della civiltà; principio egualmente applicabile tanto ad ogni grado di essa contrapposto ad un incivilimento immediatamente inferiore, quanto alla gran distinzione tra la vita civile e la barbara in generale.

61. La differenza dei gradi in cui gl'individui di una gran società godono i beni della vita, è stata in tutti i tempi un argomento di declamazione e di mali umori; ed è certamente il primo dei nostri doveri, in ogni stato di società, di alleggerire per quanto è possibile gli effetti di ciò che v'ha di cattivo in questa distribuzione, e d'impedire, con tutti i mezzi che possiamo immaginare, che gli ultimi anelli della catena sociale si strascinino nel disonore e nella miseria; ma v'è un punto di vista in cui il quadro cambia grandemente di aspetto. Paragonando la società nell'altezza cui giunse col suo stato d'infanzia o meno sviluppato, dobbiamo almeno aver cura di aggrandirne i linea-

menti in proporzione. Se nel paragone degl'infimi gradi della vita civile e della selvaggia, ammettiamo una difficoltà nel decidere a quale sia dovuta la preferenza, almeno in ogni grado superiore, non possiamo dubitare un istante, e se facciamo un simile paragone in ciascun diverso periodo di progresso, non possiamo non essere maravigliati della rapida *dilatazione* che in ogni grado superiore della scala si mostra, e che in un'estimazione media dà un'immensa preponderanza alla condizione presente sopra qualunque altra anteriore del genere umano, e per quanto si può giudicare, porrà le vegnenti generazioni tanto al di sopra della presente quanto questa è superiore alle passate. O per esprimere la stessa proposizione in altri termini; ammettendo in uno stato di maggiore incivilimento l'esistenza di ogni grado inferiore che s'incontrava nel precedente, troveremo nel proprio luogo che stato per stato, il numero proporzionale di coloro che godono di maggiori vantaggi s'accresce con una rapidità costantemente accelerata di mano in mano che la società progredisce; e in secondo luogo che l'estremità superiore della scala si allarga continuamente con l'acquisto di nuovi gradi. La condizione di un principe europeo, in ciò che spetta al godimento di veri comodi ed agiatezze, è adesso di altrettanto superiore a quella di un principe del medio evo, di quanto questa era al di sopra della condizione di uno dei suoi sudditi.

62. I vantaggi procedenti dall'accrescimento dei nostri mezzi fisici, per via di cognizioni aumentate e di arti migliorate, hanno questa proprietà peculiare

e notevole; — che si diffondono per loro natura e non possono essere esclusivamente goduti da pochi. Un despota orientale può impadronirsi delle ricchezze, e far un monopolio delle arti dei suoi sudditi per suo uso personale: può spandere intorno a sè uno splendore ed un lusso forzato, e mostrarsi in uno strano ed insensato contrasto con la miseria e le privazioni generali del suo popolo; può essere rilucente di aurei gioielli, e di ricchi abiti ricamati; ma i portenti d'ingegnose e ben dirette manifatture di cui noi giornalmente facciam uso, e le agiatezze inventate, messe alla prova e migliorate da migliaia d'individui in ogni forma di domestica comodezza, e per ogni ordinaria occorrenza della vita, non potranno mai essere da lui goduti. Per produrre uno stato di cose, in cui i vantaggi fisici di una vita civile possano in alto grado esistere, conviene che lo stimolo di crescenti comodi e di desiderii costantemente grandi sia stato sentito da milioni di persone; perocchè non è in potere di pochi di creare quell'esteso bisogno di utili ed ingegnose applicazioni, che solo può menare a grandi e rapidi miglioramenti, se non è secondato da quello che nasce dalla pronta diffusione degli stessi vantaggi nella massa del genere umano.

63. Se questo è vero dei vantaggi fisici, egli è verissimo degl'intellettuali. Il sapere non può essere nè adeguatamente coltivato, nè adeguatamente goduto da pochi; e sebbene le condizioni della nostra esistenza sulla terra possano esser tali da impedire un abbondante provvedimento ai fisici bisogni di tutti coloro che nascono, non v'è una egual legge di na-

tura che limiti i sussidi da darsi ai nostri bisogni intellettuali e morali. Il sapere non è, come il cibo, consumato dall'uso, ma n'è piuttosto accresciuto e perfezionato. Forse non acquista una maggior certezza, ma riceve dal consenso universale un'autorità confermata ed una probabile durevolezza; e non v'è scienza così compiuta che non possa ricevere qualche addizione, o così scevra d'errore che non possa andar soggetta a qualche correzione, passando per le menti di milioni d'individui. Coloro che ammirano ed amano il sapere per se stesso dovrebbero desiderare di vederne gli elementi fatti accessibili a tutti, non fosse altro perchè siano più profondamente esaminati e più efficacemente sviluppati nelle loro conseguenze, e ricevano nella qualità duttile e plastica che le operazioni di menti d'ogni specie, costantemente occupate a rivolgerli ai loro disegni, possono sole compartire. Ma per giugnere a questo fine egli è necessario ch'esso sia spogliato, per quanto è possibile, delle difficoltà artificiali, e di tutta quella parte tecnica che lo fa riguardare come un'arte segreta ed un mistero inaccessibile a chi non si sottomette alle prove di apprendente. La scienza, come ogni altra cosa, ha necessariamente i suoi termini peculiari, e per così dire, il proprio idioma, e questo, quand'anche ciò fosse possibile, non può saviamente essere abbandonato; ma tutto ciò che tende a rivestirla di modi strani e inspiranti ripugnanza, e specialmente tutto ciò che per mantenere una sembianza di superiorità sul rimanente del genere umano in coloro che la professano, assume senza bisogno un aspetto di profondità e di mistero,

dovrebbe essere senza scrupolo sagrificato. Il non far questo egli è un rispingere con animo deliberato la luce che il buon senso naturale e libero dell'uomo può spargere su di ogni soggetto e nella stessa dilucidazione dei principii: ma quando i principii debbono essere applicati ad usi pratici, la cosa diviene assolutamente necessaria, per quell'interesse che tutti gli uomini hanno che siano così familiarmente intesi da non dar luogo ad errori nelle loro applicazioni.

64. La stessa osservazione si applica alle arti. Esse non possono essere perfezionate finchè tutti i loro metodi non sono rivelati, e il loro linguaggio non è fatto semplice e reso universalmente intelligibile. L'arte è l'applicazione del sapere ad un fine pratico. Se il sapere consiste solamente in una sperienza accumulata, l'arte è *empirica;* ma se è fondata sopra di una sperienza ragionata e guidata da principii generali, ella assume un più nobile carattere e diviene *arte scientifica.* Nel progresso del genere umano dalla barbarie al vivere civile, le arti necessariamente precedono la scienza. I bisogni e gli appetiti della nostra costituzione animale debbono essere soddisfatti: i comodi ed in parte il lusso della vita debbono esistere. Qualche cosa vuol essere concessa alla vanità ed alla pompa, e maggiori concessioni si voglion fare all'orgoglio del potere: il circolo di più bassi piaceri debb'essere stato percorso e trovato insufficiente, prima che gl'intellettuali vi sottentrino: e allorchè questi sono ricercati, le delizie della poesia e delle arti sue sorelle hanno ancora la precedenza sui piaceri contemplativi e sulle più severe occupazioni del pensiero. Quando poi que-

sti cominciano col tempo a dilettare per la loro novità e le scienze cominciano a far di sè mostra, esse saranno dapprima limitate a quelle di pura speculazione. La mente si compiace nello sfuggire dalle pastoie che la tenevano legata alla terra, e si diletta nelle facoltà che ha di fresco trovate. Quindi le astrazioni della geometria, — le proprietà dei numeri, — i movimenti delle sfere celesti, tutto ciò che è astruso, remoto e fuori del mondo, — divengono i primi oggetti della scienza nella sua infanzia. Le applicazioni giungono tardi: le arti continuano a progredire lentamente, ma il loro regno rimane separato da quello della scienza da un ampio golfo che non può essere passato se non con uno slancio straordinario. Esse formano il loro linguaggio e fanno le loro convenzioni che niuno fuorchè gli artisti può comprendere. Tutta la tendenza dell'arte empirica è di avvilupparsi in un linguaggio tecnico, e di far consistere il suo orgoglio nell'insegnare certe vie più brevi e certi misteri ai suoi adetti; di sorprendere e di eccitare lo stupore coi risultati, ma di nascondere i metodi. L'indole della scienza è direttamente opposta. Essa si compiace nel mostrarsi aperta alle investigazioni: e non è contenta delle sue conclusioni finchè non può fare che il sentiero che vi mena sia largo e battuto. Nelle sue applicazioni essa conserva la stessa natura, avendo per unico scopo di sbandire ogni mistero tecnico, d'illuminare ogni oscura parte e di rendere ogni metodo accessibile, affine di migliorarlo per mezzo di principii razionali. Egli pare che per far nascere la prima idea di *scienza applicata* si richiegga l'unione di due cose quasi opposte

l'una all'altra, — il dirigere i pensieri a due parti, ed il subito trasferire le idee da un punto remoto dell'una ad un punto egualmente lontano dell'altra. Fra i Greci, Archimede vi giunse ma troppo tardi, chè vicino era l'ecclisse della scienza il quale doveva durare per quasi diciotto secoli, finchè Galileo in Italia e Bacone in Inghilterra non dissiparono a un tratto le tenebre: l'uno con le sue invenzioni e colle sue scoperte; l'altro con la forza irresistibile de' suoi argomenti e della sua eloquenza.

65. Finalmente, il miglioramento che si ottiene nella condizione del genere umano coi progressi nella scienza fisica, applicati alle cose utili alla vita, è assai lontano dall'essere limitato alle loro conseguenze dirette nel più abbondante provvedimento ai nostri fisici bisogni e nell'accrescimento dei nostri comodi. Per grandi che siano questi benefizi, essi non sono altro che gradini per giungere ad altri di un più nobil genere. I felici risultamenti dei nostri sperimenti e dei nostri raziocini nella filosofia naturale, e i vantaggi incalcolabili che la sperienza, metodicamente consultata e meditata senza pregiudizi, ha conferiti in materie meramente fisiche, tendono necessariamente a stampare l'impronta del ben ponderato e progressivo carattere della scienza sulla più complicata condotta delle nostre relazioni sociali e morali. Così la legislazione e la politica vengono per gradi ad essere riguardate come scienze sperimentali; e la storia non è più considerata come prima per una semplice cronaca di tirannia e di uccisioni, la quale, immortalando le azioni esecrabili di un secolo, perpetua l'ambizione

di rinnovarle nei susseguenti, ma come un archivio di sperimenti felici ed infelici che gradatamente si accumulano per la soluzione del gran problema — in che modo si possano conseguire i vantaggi di un buon governo col minor incomodo possibile dei governati. La celebrata sentenza, che le nazioni non traggono mai profitto dalla sperienza, diviene ogni giorno sempre più falsa. L'economia politica almeno è fondata sopra sani principii che hanno le radici nella natura morale e fisica dell'uomo, principii che, sebbene siano dimenticati in soggetti particolari, — sebbene siano temporariamente controversi e vinti dalla pubblica voce, — ricevono tuttavia una sempre crescente testimonianza della loro verità in ogni generazione che si succede, per cui o tosto o tardi debbono necessariamente prevalere. Concepita una volta e comprovata l'idea che grandi e nobili cose si possono compiere, per cui la condizione di tutta l'umana specie sarà in modo permanente migliorata con far uso di un pensar solido e grave, e con un giusto adattamento di mezzi, altro non si richiede per seriamente indursi a riflettere quali fini siano veramente grandi e nobili, sia in se stessi, sia come conducenti ad altri di un carattere ancor più sublime; perciocchè non siamo adesso come per lo passato senza speranza di conseguirli. Non è più adesso cosa del pari innocua e indifferente l'aggirarsi nel vero e nel falso; poichè non siamo più in modo supino e irresistibile trasportati dal torrente degli avvenimenti, ma ci sentiamo capaci di lottare almeno con le sue onde e forse di trionfarne: imperciocchè per qual motivo dispereremmo noi che quella

ragione la quale ci ha posti in grado di assoggettare tutta la natura ai nostri desiderii (permettendolo ed assistendoci la Divina Provvidenza), facesse un'assai più difficile conquista; e trovasse finalmente qualche mezzo per cui la sapienza riunita del genere umano avesse forza di atterrare quegli ostacoli che l'ignoranza, l'amor proprio e le passioni individuali oppongono a tutti i miglioramenti, e per cui le più alte speranze sono continuamente distrutte e i più bei disegni impediti!

PARTE SECONDA

DEI PRINCIPII CHE FISSANO I METODI D'INDAGINE NELLA SCIENZA FISICA, E DELLE NORME SECONDO LE QUALI UN ESAME SISTEMATICO DELLA NATURA DOVREBBE ESSERE REGOLATO, CON ESEMPI ILLUSTRATIVI DELLA LORO INFLUENZA, TRATTI DALLA STORIA DE' SUOI PROGRESSI.



CAPITOLO I

Della sperienza come sorgente del nostro sapere. — Del bandire i pregiudizi. — E della testimonianza dei nostri sensi.

66. Siccome abbiamo già osservato, l'idea di causa non entra nella scienza astratta. Le verità di cui si occupa sono *necessarie*, ed esistono indipendentemente dalle cause. Non vi sarà realmente delineata nello spa_ zio alcuna *cosa* simile ad un triangolo rettilineo: ma al momento che ne concepiamo uno nella nostra mente, non possiamo ricusare di ammettere che la som-

ma dei suoi tre angoli equivale a due retti; se poi per aggiunta concepiamo che uno dei suoi angoli sia retto, non possiamo più ricusare di ammettere che la somma dei quadrati dei due lati che lo inchiudono non sia eguale al quadrato del lato che gli è opposto. Mantenere il contrario sarebbe lo stesso che negare ch' egli sia rettangolo. Nessuno *è cagione* o *fa* che tutti i diametri di un'ellisse siano bipartiti nel suo centro. L'asserire il contrario non sarebbe un ribellarsi contro un potere, sibbene un negare le nostre proprie parole. Ma nella scienza naturale, *causa* ed *effetto* sono le relazioni finali che contempliamo, e *leggi* o imposte o mantenute, le quali, per quanto a noi consta, nulla impedirebbe che fossero diverse da quello che sono. Questa distinzione è assai importante. Un uomo d'ingegno segregato da tutti, e con un tempo illimitato a sua disposizione, potrebbe indovinare ragionando tutte le verità delle matematiche, procedendo da quelle semplici nozioni di spazio e di numero delle quali non può svestirsi senza cessar di pensare. Ma per niuno sforzo di raziocinio egli potrebbe mai dire che cosa sia per divenire un pezzo di zucchero quando è immerso nell'acqua, o quale impressione sarebbe prodotta sul suo occhio dalla mescolanza dei colori giallo e turchino.

67. Così la SPERIENZA ci è dimostrata come la grande e sola sorgente ultima della nostra conoscenza della natura e delle sue leggi; sotto il cui nome non intendiamo la sperienza di un solo uomo, o di una generazione, ma quella accumulata di tutto il genere umano in tutti i tempi, ricordata in libri o trasmessa per

tradizione. Ma si può acquistare sperienza in due modi: 1.° coll'attendere ai fatti quando accadono, senza tentare d'influire sulla frequenza dell'occorrenza loro, o di variare le circostanze sotto le quali occorrono; questa è OSSERVAZIONE; 2.° col mettere in azione cause od agenti che da noi dipendono, ed espressamente variare le loro combinazioni ponendo mente agli effetti che ne seguono; questo è SPERIMENTO. Queste due dobbiamo riguardare come sorgenti di tutta quanta è la scienza naturale. Tuttavia non s'intende, col distinguere in questo modo l'osservazione dallo sperimento, di porli in alcuna maniera in opposizione. Essenzialmente sono assai simili e differiscono piuttosto in grado che in ispecie: talchè i termini di *osservazione passiva* ed *attiva* spiegherebbero forse meglio la loro distinzione: non di meno ella è cosa altamente importante l'osservare i diversi stati di mente nelle investigazioni proseguite coi loro rispettivi aiuti, come pure i loro diversi effetti nel promuovere i progressi della scienza. Nel primo caso noi rimaniamo tranquilli ed ascoltiamo, con attenzione più o meno svegliata, una storia, raccontataci forse oscuramente, in modo interrotto ed a lunghi intervalli di tempo. Egli è soltanto col ruminarvi sopra che veniamo a collegarla e comprenderla tutta; e spesso, quando l'opportunità è fuggita, proviamo il rincrescimento che la nostra attenzione non fosse più particolarmente diretta a qualche punto che, a quel tempo, sembrava di poco momento, ma di cui finalmente apprezziamo l'importanza. — Nell'altro caso, noi interroghiamo il testimonio, e paragonando una parte della sua testimo-

nianza coll'altra, mentre è ancora presente, e ragionandovi sopra, siamo in istato di fargli dirette e precise interrogazioni, dalle cui risposte ricaviamo lume per deliberare. Epperò si è veduto invariabilmente che in quelle parti della fisica, sui fenomeni delle quali non possiamo influire, o in cui, per altre cagioni, non si son fatte ricerche sperimentali, il progresso è stato lento, incerto e irregolare; mentre in quelle che ammettono sperimenti e in cui gli uomini sono stati d'accordo di farne, si progredì con passo rapido, sicuro e fermo. Per esempio, nella nostra conoscenza della natura e delle cause dei vulcani, dei terremuoti, della caduta di sassi dal cielo, dell'apparizione di nuove stelle, e sparizione di antiche, e di altri fra i gran fenomeni della natura che sono intieramente fuori del poter nostro, e che nello stesso tempo sono di troppo rara occorrenza perchè altri possa ripetere e rettificare le sue impressioni intorno ad essi, noi siamo poco più inoltrati di quello che si fosse nei primi tempi. Qui la storia ci è raccontata lentamente in frasi interrotte. Nell'astronomia al contrario la narrativa è almeno continuata: l'opportunità di osservare è costantemente presente, e in qualche parte ne risarcisce dell'impossibilità di variare il punto di vista e di cercare istruzione al preciso momento che ne abbiamo bisogno. Per conseguenza l'astronomia riguardata come scienza di mera osservazione è arrivata, benchè assai lentamente, ad un ragguardevole stato di maturità. Ma nel momento che divenne una parte della meccanica, scienza sperimentale per essenza (vale a dire, una di quelle in cui qualunque principio che si

ponga può essere assoggettato ad una *prova* immediata e decisiva, in cui non è necessario di aspettare l'approvazione della sperienza), i suoi progressi subitamente si accelerarono del decuplo; talmente che si è asserito, e noi crediamo con verità, che se le memorie di tutte le osservazioni dei tempi più antichi fossero annientate, non lasciando se non quelle fatte in un solo osservatorio (1) durante la vita di un solo individuo (2), tutta questa perfettissima delle scienze, potrebbe da quei dati, e per quanto agli oggetti in essi compresi, essere ricostrutta ad un tratto e comparire precisamente come stava quando esse vennero terminate. Per dare un altro esempio: la mineralogia prima dei tempi moderni poteva appena dirsi che esistesse. Le descrizioni delle stesse pietre preziose in Teofrasto ed in Plinio sono, nella maggior parte dei casi, appena sufficienti per farne riconoscere l'identità, ed in molti non bastano nemmeno per quest'umile oggetto. Più recenti osservatori riguardando più accuratamente ai caratteri ovvii dei minerali, ne avevano formato un esteso catalogo, e fatto più d'un tentativo per disporre e render metodica la conoscenza acquistata, con dedurre parimenti alcune conclusioni generali per rispetto alle forme che abitualmente assumono; ma dal momento che l'analisi chimica fu impiegata per risolverli nei loro elementi costituenti, e che diretto da un fortunato accidente il genio di Bergmann scoprì il fatto generale ch'essi potevano

(1) Greenwich.
(2) Maskelyne.

essere divisi e sfaldarsi in direzioni tali da mettere allo scoperto le loro peculiari forme primitive e fondamentali (che in essi stanno nascoste, come si può concepire che la statua sia circondata dal suo invoglio di marmo)—, da quel momento la mineralogia cessò di essere un'insignificante lista di nomi, un semplice laborioso catalogo di pietre e di frantumi, e divenne, quello che è adesso, una scienza regolare, metodica e importantissima, nella quale ogni anno mette in luce nuove relazioni, nuove leggi e nuove applicazioni pratiche.

68. Una volta che si è riconosciuta la sperienza qual sorgente di tutta la nostra conoscenza della natura, ne segue che nello studio della natura e delle sue leggi, dobbiamo tosto prepararci a sbandire come sciocchi pregiudizi, o almeno sospendere come premature tutte le preconcepite opinioni intorno a ciò che potrebbe o dovrebb'essere l'ordine della natura in qualunque caso proposto, e contentarci di osservare ciò che è, come cosa puramente di fatto. Noi riguardiamo la sperienza come la sola base di ogni fisica investigazione. Ma prima che si possa utilmente far uso della sperienza, vi è un passo preliminare da farsi, il quale dipende onninamente da noi: esso consiste nello sbandire assolutamente ogni pregiudizio da qualunque causa sia prodotto, determinandoci di non badare in prima ad altro che al risultamento di uno studio diretto dei fatti, e quindi a quello di una rigorosa deduzione logica. Ora egli è necessario di distinguere due generi di pregiudizi, che esercitano un dominio assai diverso sulla mente, e che inoltre differiscono

grandemente per la difficoltà di estirparli, e pel metodo da seguirsi per quest' oggetto. Essi sono,

1° i pregiudizi dell' opinione
2° i pregiudizi dei sensi.

69. Per pregiudizi dell' opinione noi intendiamo opinioni ricevute in fretta, sia per le asserzioni altrui, sia per le nostre viste superficiali, o per osservazioni volgari, le quali essendo costantemente ammesse senza discussione, hanno sulle nostre menti il dominio prodotto dall' abito. Tali erano le opinioni altre volte ricevute che la terra è il più grande dei corpi dell' universo, immobile nel suo centro, e che tutto il rimanente del mondo è creato per suo solo uso; che è natura del fuoco e del suono lo ascendere; che il lume della luna è freddo; che la rugiada *cade* dall' aria, ecc.

70. A combattere e distruggere simili pregiudizi possiamo procedere in due modi: o facendo toccar con mano la falsità dei fatti addotti in loro sostegno, o col mostrare che le apparenze che sembrano favorirli, sono più facilmente spiegate senza ammetterli. Ma sgraziatamente la natura dei pregiudizi d' opinione fa ch' essi si mantengano sino ad un certo grado in ogni mente, e in alcune con pertinace ostinazione, *pigris radicibus*, anche quando ogni pretesto di ragionevolmente ritenerli è rimosso. Contro questa disposizione lo studioso della scienza naturale debbe combattere con tutte le sue forze. Non già che siamo così irragionevoli da pretendere da lui che in sull' istante

e perentoriamente rigetti tutte le sue antiche opinioni e i suoi giudizi; ciò che richiediamo è questo, che li conservi senza ostinazione e finchè non abbia motivo di porli in dubbio, ma sia pronto a rinunziarvi quando sia chiaramente provato che non si possano difendere, e non vi si fidi allorchè sarà dimostrato che il peso della probabilità sta contro di essi. S'egli ricusa di far questo, egli è incapace di scienza.

71. La nostra resistenza alla distruzione di un'altra specie di pregiudizi — quella dei sensi — è comunemente più violenta da principio, ma meno persistente che quando si tratta di quelli dell'opinione. Sembra per verità che il non poter confidare nella testimonianza dei nostri sensi sia una dura condizione, e tale che, se fosse proposta, nessuno vorrebbe adattarvisi. Ma non è la testimonianza diretta dei nostri sensi che siamo chiamati a rigettare, bensì i soli giudizi erronei che inscientemente formiamo per mezzo di quelli, e ciò nel solo caso che una *contro testimonianza dello stesso genere* può provare la loro erroneità; quando un senso per esempio è condotto a testificare contro di un altro, o lo stesso senso contro di se medesimo, di modo che le conclusioni ovvie nei due casi discordano tanto da farci riconoscere che o l'una o l'altra debbe esser falsa. Per esempio, nulla può a prima giunta sembrare più ragionevole, ovvio e incontrastabile della conclusione che il colore di un oggetto è una qualità inerente come il suo peso, la sua durezza ecc., e che il *vedere* un oggetto, e il vederlo *col suo proprio colore*, quando nulla è interposto fra i nostri occhi ed esso, sono una e medesima cosa. Tuttavia

questo è un vero pregiudizio: e che sia tale è dimostrato dal far uso dello stesso senso della vista che ne è stato cagione, per testimonio dalla parte contraria; imperciocchè quando i raggi prismatici diversamente coloriti sono, in una stanza oscura, successivamente gettati sopra un oggetto, qualunque sia il colore che noi siamo avvezzi a chiamare suo proprio, esso apparirà essere di quel particolare colore della luce che gli cade sopra: una carta gialla, per esempio, apparirà del colore dello scarlatto quando sarà illuminata da raggi rossi, gialla quando i raggi saran gialli, verde se verdi, turchina se turchini; il suo (così detto) proprio colore *non mischiandosi menomamente con quello che viene a presentare.*

72. Per dare uno o due altri esempi della specie d'illusione che i sensi operano su di noi, o per dir meglio, che operiamo su noi stessi, per una falsa interpretazione della loro testimonianza: la luna al sorgere e al tramontare sembra molto più larga che quando è alta nel cielo. Questo è tuttavia un giudizio erroneo: poichè quando ci facciamo a misurare il suo diametro, lungi dal trovare che la nostra conclusione sia sostenuta dal fatto, troviamo ch'esso è di una misura effettivamente minore. Qui la vista è opposta alla vista col vantaggio di una deliberata misura. Nel *ventriloquio* l'udito è in opposizione con tutti gli altri sensi, e specialmente con la vista che talvolta vi si trova in contraddizione in una maniera straordinaria e sorprendente, come quando si fa in modo che la voce sembri uscire da un oggetto inanimato ed immobile. Se tuffiamo le mani, l'una nell'acqua agghiac-

ciata e l'altra nell'acqua calda al maggior grado che si possa sopportare, e dopo di avercele tenute per qualche tempo, le rituffiamo subitamente entrambe in un vaso pieno d'acqua alla temperatura del sangue, l'una proverà una sensazione di caldo, l'altra di freddo. E se facciamo scavalcare il dito medio sull'indice di una mano e poniamo un pisello nel vuoto infraddue, facendolo muovere e girare su di un tavolino, saremo pienamente persuasi (massimamente se chiudiamo gli occhi) che abbiamo sotto le dita due piselli. Se turiamo le nari mentre stiamo mangiando un pezzo di cinnamomo, non sentiremo differenza fra il suo gusto e quello di un coppone di legno.

73. Questi ed innumerevoli altri esempi che potremmo citare, ne convinceranno che quantunque non siamo mai ingannati nell' *impressione sensibile* che gli oggetti esterni fanno sopra di noi, tuttavia nel formarne giudizio siamo posti in balia delle circostanze le quali o modificano le impressioni attualmente ricevute, o le combinano con accessori che abitualmente furono associati con giudizi diversi; epperò nell'estimare il grado di confidenza che dobbiamo avere nelle nostre conclusioni, dobbiamo, di necessità, calcolare queste circostanze modificanti o concomitanti di qualunque natura esse siano. Qui è chiaro che non parliamo di organizzazione imperfetta, quale sarebbe per esempio l'occhio distorto che produce una doppia visione, e meno ancora di un' illusione di mente che pervertisce affatto gli effetti delle impressioni sensibili.

74. Siccome la mente non esiste nel luogo degli og-

getti sensibili, e non è posta in relazione immediata con essi, non possiamo riguardare le impressioni sensibili, se non come segnali comunicati da quelli, per mezzo di un meccanismo sorprendente e per noi inesplicabile, alla nostra mente, la quale li riceve e gli esamina, e per abito e per associazione li connette con qualità corrispondenti negli oggetti; appunto come uno che scriva e che paragoni i segnali di un telegrafo potrebbe interpretarne il senso. Se, per esempio, egli avesse costantemente osservato che l' aver fatto un certo segno fosse sempre seguito il domani dall'annunzio che una nave è giunta a Portsmouth, egli connetterebbe i due fatti con un anello della stessa natura di quello che connette l'idea di un grand'edifizio di legno pieno di marinari, coll' impressione della sua forma esteriore sulla retina di uno spettatore che sia sulla sponda del mare.

75. Nella graziosa e viva descrizione che fa il capitano Head del suo viaggio a traverso i Pampas dell'America Meridionale, occorre un aneddoto che fa precisamente al caso nostro. La sua guida un giorno subitamente si fermò e indicando su nell' aria, gridò « un leone! » Sorpreso a quest' esclamazione, accompagnata da un tale atto, egli alzò gli occhi, e con difficoltà scorse ad un' altezza immensa, un volo di condori aggirarsi circolarmente in un luogo particolare. Sotto a quel punto, assai lontano dalla sua vista e da quella della guida, giaceva il cadavere di un cavallo, e intorno ad esso (siccome la guida ben sapeva) stava il leone che i condori guardavano con invidia da quella smisurata altezza. Il segnale degli uccelli era per la

guida ciò che la vista sola del leone sarebbe stata pel viaggiatore, — la certezza della sua esistenza.

CAPITOLO II

Dell' analisi dei fenomeni.

76. I fenomeni dunque, o apparenze, siccome significa letteralmente la parola, sono i risultamenti sensibili di atti e di operazioni seguite fra gli oggetti esterni, o i loro principii costituenti, delle quali non sono altro che segnali, comunicati alle nostre menti nel modo sovra espresso. Ora queste operazioni possono in molti casi essere rendute *sensibili*, vale a dire analizzate, con dimostrare ch' esse consistono nei movimenti od altri modi di essere dei medesimi oggetti sensibili. Per esempio, il fenomeno del suono prodotto da una corda armonica o da una campana quando sono toccate, può dimostrarsi essere la conseguenza di un rapido movimento di vibrazione delle loro parti, comunicato all' aria, e quindi al nostro orecchio; quantunque l' effetto immediato sui nostri organi dell' udito nonecciti la menoma idea di un tal movimento. Per altra parte, vi sono innumerevoli esempi d' impressioni sensibili le quali (almeno al presente) siamo incapaci

di seguire più in là che nella semplice sensazione; come nelle sensazioni di amaro, dolce, ecc. Queste, per conseguenza, se fossimo inclinati a decidere frettolosamente, potrebbero essere riguardate come qualità finali: ma l'esempio solo del suono, pur ora addotto, c'insegnerebbe a andar guardinghi in simili decisioni, e c'inclinerebbe a crederle semplici risultati di qualche segreta operazione accaduta nei nostri organi del gusto, troppo sottile per noi, perchè la possiamo scoprire. Uno sperimento semplicissimo basterà per metter questo in più chiara luce. Una soluzione del sale chiamato dai chimici *nitrato di argento* ed un'altra d'*iposolfito di soda*, hanno ciascheduna separatamente un gusto amaro spiacevole: ma se sono mescolate, o se una è assaggiata prima che la bocca sia affatto netta dell'altra, l'impressione sensibile è quella di una intensa dolcezza. Così il sale chiamato *tungstato di soda*, appena gustato è dolce, ma prontamente produce una sensazione di amaro intenso e puro, come la cassia (1).

77. Sino a qual punto possiamo giungere ad una conoscenza degli ultimi ed interni modi di agire della natura nella produzione dei fenomeni, non abbiamo mezzo di saperlo; ma giudicando dal grado di oscurità che involve il solo caso in cui sentiamo dentro di noi un potere *diretto* di azione, sembra che non vi sia grande speranza di poter penetrare così addentro. Il caso di cui parliamo è la produzione del movimento per mezzo della forza. Siamo conscii di un potere di

(1) Thomson, *Elementi di Chimica*, vol. II, pag. 68.

muovere le nostre membra e, coll'intervento loro, altri corpi; e che questo effetto è il risultato di una certa operazione inesplicabile, di cui siamo fatti accorti, ma che non possiamo definire con parole, per cui mettiamo in atto la *forza*. Ed anche quando quest'atto non produce alcun effetto visibile (come quando premiamo fortemente le mani insieme, soltanto per opporre lo sforzo dell'una a quello dell'altra) noi vediamo dalla fatica e dalla stanchezza, e dall'impossibilità di continuare lungamente l'azione, che qualche cosa si opera in noi, di cui la mente è l'agente, e la volontà la causa determinante. Quest'idea che ci facciamo della natura della forza, pel nostro proprio sforzo e pel nostro sentimento di fatica, è affatto diversa da quella che otteniamo dal vedere l'effetto della forza con cui altri produce il *movimento*. Se questo movimento non esistesse, e noi fossimo stati sin dall'infanzia rinchiusi in un'oscura prigione con tutte le membra coperte da una intonacatura di gesso, questa coscienza interna ci darebbe tuttavia un'idea compiuta della forza; ma, posti in libertà, l'abito solo ce ne farebbe conoscere l'impiego per mezzo del suo *segnale* che è il movimento, e questo accadrebbe solamente col trovare che la stessa azione della mente, la quale nello stato d'imprigionamento ci era cagione di fatica e di stanchezza per la tensione dei muscoli, ci dà la facoltà, quando siamo liberi, di muovere noi stessi e far muovere gli altri corpi. Ma quanto sia oscura la nostra conoscenza del modo con cui si opera in noi l'esercizio di questo importante privilegio, in virtù del quale solo operiamo come *cause* dirette, lo possiamo giudicare da questo,

che quando mettiamo un membro in movimento, la sede dell'azione ci sembra essere nel membro, invece che si può dimostrare che questo non è, ma che è posta o nel cervello o nella midolla spinale; e n'è prova il fatto, che se una picciola fibra, chiamata nervo, la quale serve di comunicazione fra il membro e il cervello o la spina, vien troncata in qualunque parte del suo corso, per isforzi che facciamo, il membro non si muoverà.

78. Questo esempio dell' oscurità che circonda il solo atto di *causalità* diretta, di cui abbiamo una coscienza immediata, basterà a dimostrare quanto sia picciola la speranza che nella nostra investigazione della natura possiamo un giorno arrivare alla conoscenza delle cause finali, e c'insegnerà a limitare i nostri tentativi all'acquisto di quella delle *leggi*, ed all'analisi di fenomeni complessi per cui vengono risoluti in semplici, i quali, parendoci non poter sopportare un'ulteriore analisi, dobbiamo consentire di riguardare come cause. E nessuno si dolga di questo come di una limitazione delle sue facoltà. Abbiamo qui ampio spazio e campo sufficiente pel pieno esercizio di tutti i poteri che possediamo; ed oltre a ciò il fatto sta che siamo capaci di riconoscere la dipendenza di una grandissima parte dei fenomeni dell' universo da questa *causa*—l'impiego della *forza* meccanica; anzi questa parte è così vasta che si è fatto un soggetto di specolazione l'esaminare se la detta causa non sia la sola capace di agire sugli esseri materiali.

79. Ciò che intendiamo per risolvere i fenomeni complessi in altri più semplici per via d'analisi, sarà

meglio inteso con un esempio. Prendiamo adunque il fenomeno del suono, e considerando i vari casi in cui suoni di ogni specie sono prodotti, troveremo che tutti vanno d'accordo in questi punti. 1° Eccitamento di moto in un corpo sonante. 2° Comunicazione di questo moto all'aria o altro corpo interposto fra il corpo sonante e il nostro orecchio. 3° Propagazione di questo moto di particella in particella del corpo intermedio in debita successione. 4° Sua comunicazione, dal corpo intermedio adiacente all'orecchio, all'orecchio medesimo. 5° Passaggio nell'orecchio ai nervi dell'udito per mezzo di un certo meccanismo. 6° Eccitamento di sensazione.—Ora in quest' analisi ci avvediamo che due cose principali debbono essere intese, prima che possiamo avere una vera e compiuta cognizione del suono. 1° L'eccitamento e la propagazione del moto. 2° La produzione della sensazione. Questi sono pertanto due altri fenomeni di un ordine più semplice, o per parlar più correttamente, di un ordine più generale od elementare, in cui il fenomeno complesso del suono si risolve. Ma se consideriamo la comunicazione del moto da un corpo ad un altro, o da una parte ad un' altra dello stesso corpo, vedremo che si può risolver di nuovo in parecchi altri fenomeni. 1° L'atto originale del metter in moto un corpo materiale o parte di esso. 2° Il diportamento di una particella messa in moto, quando ne incontra un'altra nella sua direzione, od è altramente impedita o soggetta ad influenza per la sua connessione con le particelle che la circondano. 3° Il diportamento delle particelle che così l'impediscono o le fanno sentire la loro influenza sotto tali

*

circostanze: oltrechè gli ultimi due indicano un altro fenomeno, che è pur necessario di considerare, cioè: quello della connessione delle parti di corpi materiali in masse, per cui formano aggregati e possono influire sui moti vicendevoli.

80. Così dunque veggiamo che un' analisi del fenomeno del suono mena all' investigazione: 1° di due *cause*, cioè la causa del moto e la causa della sensazione, fenomeni che (nello stato presente dell' umano sapere) non possiamo ulteriormente analizzare; e perciò li poniamo fra i semplici, elementari e da riferirsi, per quanto ci consta, all' immediata azione delle loro cause; 2° di parecchie quistioni relative alla connessione fra il moto dei corpi materiali e la sua causa, quale è questa, *Che cosa accadrà* quando un corpo che si muove è circondato da tutte le parti da altri che non sono in movimento? *Che cosa accadrà* quando un corpo che non si muove viene incontrato da uno in moto? Egli è evidente che le risposte a quistioni simili a queste non possono esser altro fuorchè *le leggi del movimento*, nel senso che abbiamo di sopra attribuito alle leggi della natura, cioè: una dichiarazione in parole di ciò che sarà per accadere in tali e tali altre proposte contingenze generali. Finalmente proseguendo l' analisi, e considerando il fenomeno dell' aggregazione delle parti di corpi materiali, e il modo col quale esercitano influenza l' una sull' altra, siamo condotti a due altri fenomeni generali, vale a dire, alla coesione ed all' elasticità della materia; e non avendo mezzi di ulteriormente analizzarli, li dobbiamo riguardare (finchè non ci consti il contrario)

come *fenomeni finali*, da riferirsi alla diretta azione delle cause, cioè ad una *forza* attrattiva e repulsiva.

81. Della forza contrabbilanciata da una forza opposta noi abbiamo, siccome si è detto, una coscienza interna; e quantunque ci possa parere strano che la materia sia capace di esercitare sulla materia lo stesso genere di sforzo che, giudicando soltanto da questa coscienza, potremmo essere indotti a riguardare come mentale: tuttavia non possiamo ricusare la diretta testimonianza dei nostri sensi, la quale ci dimostra che quando teniamo una molla spiegata con una mano, sentiamo che al nostro sforzo un altro si oppone esattamente nello stesso modo che se l'opposizione procedesse dall'altra mano o da quella di un'altra persona. L'investigazione adunque dell'aggregazione della materia si risolve nella quistione generale, — quale sarà il diportamento di particelle materiali sotto l'azione mutua di forze opposte capaci di contro bilanciarsi? e la risposta non può esser altra fuorchè l'annunzio della *legge dell'equilibrio*, qualunque ella possa essere.

82. Per ciò che riguarda la causa della sensazione, essa debb'essere tenuta per assai più oscura di quella del movimento, in quanto che non ne abbiamo consapevolezza di conoscenza, cioè non abbiamo potere di procurarci una sensazione per alcun atto della nostra mente e della nostra volontà. Egli è bensì vero che non siamo privi di un avvicinamento ad essa, poichè con uno sforzo di memoria e d'immaginazione, possiamo produrre nelle nostre menti un'impressione

o idea di una sensazione, la quale, in casi particolari, può colla sua vivacità avvicinarsi alla realtà medesima. Nei sogni parimente e in alcuni casi di disordini nervali, abbiamo sensazioni senza oggetto. Ma se la forza, come causa di movimento, ci riesce oscura anche nell'atto di esercitarla, quanto maggiormente sarà tale quest'altra causa, il cui esercizio possiamo solamente imitare in un modo imperfetto con un atto volontario, e della cui azione puramente interna siamo soltanto pienamente consapevoli, allorchè siamo in uno stato che ci rende incapaci di ragionare e quasi di osservare!

83. Lasciando dunque da parte, siccome cosa cui non possiamo giungere, l'investigazione delle cause, dobbiamo per ora limitarci a concentrare la nostra attenzione sulle leggi che prevalgono fra i fenomeni, e sembrano essere loro immediato risultamento. Dall'esempio che abbiamo arrecato possiamo scorgere che ogni investigazione della natura intima di un fenomeno complesso si divide in altrettante diverse e distinte investigazioni quanti sono i fenomeni semplici od elementari in cui può essere analizzato: e che perciò saremmo grandemente aiutati nel nostro studio della natura se potessimo in qualche modo scoprire quali *siano* i fenomeni finali in cui tutti i composti ch'esso presenta si possono risolvere. Tuttavia egli è chiaro che non c'è via per cui si possa verificare questo *a priori*. Dobbiamo ricorrere alla natura stessa, e lasciarci guidare dalla stessa regola che il chimico seguita nella sua analisi, in cui riguarda ogn'ingrediente come *elemento* finchè non può scomporlo e risolverlo

in altri. Così nella filosofia naturale dobbiamo considerare ogni fenomeno come elementare e semplice finchè ci sia dato di analizzarlo e di dimostrare che è il risultato di altri, i quali alla loro volta divengono elementari. In questo modo, e in un senso modificato e relativo, possiamo continuare a parlare di cause, non intendendo con ciò quegli ulteriori principii di azione, dall'esercizio dei quali tutta la macchina della natura dipende, ma quegli anelli prossimi che connettono fenomeni con altri di una specie più semplice, più alta, e più generale od elementare. Per esempio: possiamo riguardare la vibrazione di una corda armonica come causa prossima del suono che manda, ricevendola sino a questo punto come un fatto finale, e tralasciando o differendo le nostre investigazioni della causa delle vibrazioni, che è di una natura più alta e più generale.

84. Inoltre, siccome nella chimica siamo talvolta costretti di riconoscere l'esistenza di elementi diversi da quelli già verificati e conosciuti, quantunque non possiamo isolarli, e di scorgere che certe sostanze hanno i caratteri di composti, e debbono perciò poter essere assoggettate all'analisi, quantunque non vediamo in che modo si possa intraprendere; così in fisica possiamo avvederci della complessità di un fenomeno senza esser capaci di farne l'analisi. Per esempio: nel magnetismo è chiaramente provato che v'ha per agente l'elettricità, e che l'uno sta all'altra nella relazione di effetto e di causa, almeno in quanto che tutti i fenomeni del magnetismo possono esser prodotti dall'elettricità, ma nessun fenomeno elettrico è stato sin

qui prodotto dal magnetismo (1). Ma l'analisi del magnetismo, nella sua relazione con metalli particolari, non è ancora stata fatta in un modo al tutto soddisfacente: e siamo costretti ad ammettere l'esistenza di qualche causa, sia prossima od ultima, la cui presenza nell'uno e non nell'altro fenomeno determina la loro differenza. Casi simili a questi, tra tutti quelli che la scienza presenta, offrono il più alto interesse. Essi eccitano le investigazioni come un avvicinamento alla soluzione di un enimma; e ci mostrano che v' è la luce, sol che si potesse rimuovere un certo velo.

85. Nel proseguire l'analisi di un fenomeno, al momento che ci vediamo arrestati da uno che non scorgiamo come si possa analizzare, e che perciò siamo costretti di riferire (almeno provvisionalmente) alla classe di fatti finali, e di considerare come elementari, lo studio di questo e delle sue leggi diviene una parte separata della scienza. Se incontriamo lo stesso fenomeno elementare nell'analisi di parecchi composti, l'interesse aumenta ed assume una maggiore importanza; mentre nel medesimo tempo acquistiamo lumi intorno al fenomeno stesso, coll'osservar quelli ai quali è abitualmente associato, per ricavare aiuto a farne finalmente l'analisi. Egli è in questo modo che le scienze si allargano ed acquistano una relazione ed una dipendenza vicendevole. In questo modo siamo parimenti posti in grado di scoprire paralelli ed ana-

(1) La correlazione presentita dall'autore si verificò poco stante colle scoperte di Faraday, delle correnti magneto-elettriche.— N. T.

logie fra le stesse parti principali della scienza, che finalmente terminano nello scorgere la loro dipendenza da qualche fenomeno comune di una natura più generale e più elementare di quella che forma il soggetto dell'una e dell'altra separatamente. Così avvenne, per esempio, che prima della grande scoperta di Oërsted dell'elettro-magnetismo, si riconoscesse una gran somiglianza fra le due scienze dell'elettricità e del magnetismo, e che di molti dei principali fenomeni di ciascuna, *mutatis mutandis*, si trovassero paralelli nell'altra. Così un'analogia che esiste fra il suono e la luce è stata gradatamente dedotta ad un più stretto accordo, il quale può appena lasciare un dubbio ragionevole intorno alla loro finale coincidenza in un comune fenomeno, — il moto vibratorio di un *mezzo* elastico. Se ci è lecito di proseguire la nostra illustrazione con la chimica, e di fondare la sua applicazione non su ciò che è stato fatto, ma su ciò che si potrà fare un giorno, egli è in questo modo che la somiglianza generale di famiglia fra certi gruppi di corpi ora riguardati come elementari (come il nickel, il cobalto, il cloro, il iodio e il bromio), ci condurrà forse per l'avvenire a scoprire relazioni fra di essi di una natura più intima che non è quella che vi scorgiamo adesso.

86. Egli è evidente che si debbe impiegare il massimo studio e la massima attenzione in quei fenomeni che più frequentemente s'incontrano in un'analisi della natura, e che più degli altri resistono ad un'ulteriore decomposizione, e ciò non solo perchè somministrano la chiave alla maggior parte delle investi-

gazioni, e servono a ridurre, per così dire, in un gruppo ed a classificare insieme il più gran numero di fenomeni, ma per ragione dell'alta loro natura, e perchè in essi dobbiamo cercare l'azione diretta delle cause e la più estesa e generale espressione delle leggi naturali. Queste, una volta scoperte, mettono in poter nostro lo spiegare tutti i fatti individuali, e divengono basi di raziocinio, indipendenti da sperimenti particolari; facendo così lo stesso officio nella filosofia naturale che gli assiomi fanno nella geometria; e contenendo in uno stato di raffinamento e di condensazione, e per così dire in quintessenza, tutto ciò che la nostra ragione ha bisogno di trarre dall'esperienza per poter seguitare le verità della fisica con la semplice applicazione dell'argomento logico. E per verità gli assiomi stessi della geometria possono in certa maniera essere riguardati come un appello alla sperienza, non corporale, ma della mente. Quando diciamo che il tutto è maggiore di una sua parte, noi esprimiamo un fatto generale, che s'appoggia, è vero, sulle nostre idee di tutto e di parte; ma facendo astrazione di queste idee, noi cominciamo dal considerarli come esistenti in ispazio, in tempo ed in volume, e poi in ispazio lineare, superficiale e solido. Ancora, quando diciamo che gli eguali agli eguali sono eguali, noi facciamo mentalmente paragoni, in ispazi eguali, eguali tempi ecc; di modo che questi assiomi, benchè per se stessi evidenti, sono ancora proposizioni generali, di tanto appartenenti alla specie induttiva, che indipendentemente dall'esperienza non si presenterebbero alla mente. La sola differenza fra questi e gli

assiomi ottenuti mercè un' estesa induzione è questa, che nello stabilire gli assiomi della geometria, gli esempi si offrono spontaneamente, senza difficoltà di ricerca e sono pochi e semplici; nello stabilire quelli della natura, li troviamo infinitamente numerosi, complicati e remoti; di modo che si richiede la più diligente indagine e la maggiore sagacità per isvilupparne la matassa e metterne in evidenza il significato.

87. Il fenomeno più generale di tutti quelli che conosciamo, — quello che occorre più costantemente in ogni investigazione in cui entriamo, è il movimento e la sua comunicazione. La dinamica adunque, o la scienza della forza e del movimento, è perciò posta in cima di tutte le scienze: e fortunatamente pel sapere umano, essa è una di quelle in cui si può giungere alla maggior certezza, non inferiore alla dimostrazione matematica. Siccome i suoi assiomi sono pochi, semplici e nel più alto grado distinti e definiti, così hanno pure nello stesso tempo una relazione immediata allo spazio, al tempo, alla direzione e alla quantità geometrica, e perciò si adattano con gran facilità al raziocinio della geometria. Epperò le loro conseguenze possono essere proseguite sino a qualunque punto con argomenti puramente matematici, cosicchè il limite della nostra conoscenza della dinamica è solamente determinato da quello delle matematiche pure, il che non accade in alcun'altra parte della scienza fisica.

88. Si chiederà ora come si debba procedere ad analizzare un fenomeno composto e risolverlo in altri semplici, e se si possano dare regole generali per quest'im-

portante operazione? Rispondiamo, niuna: come non si può dare dal chimico (per valerci dell'illustrazione cui abbiamo già avuto ricorso) alcuna regola generale per l'analisi delle sostanze, gl'ingredienti delle quali sono sconosciuti. Se tali regole potessero essere scoperte, esse inchiuderebbero tutta la scienza naturale; ma noi siamo assai lontani dal poterle proporre. Tuttavia è da ricordarsi che l'analisi dei fenomeni, filosoficamente parlando, è principalmente utile in questo che ci fa riconoscere e notare, per una speciale investigazione, quelli che ci sembrano semplici; ci dà i mezzi di metodicamente ricercare le loro leggi, e così di facilitare l'opera, di stabilire assiomi generali o forme di parole che li comprendano tutti,—che li trapiantino, per così dire, fuori del mondo esterno nell'intellettuale, li rendano creature del puro pensiero, e ci mettano in istato di dedurli *a priori* col ragionamento. Ciò che rende cotanto desiderabile il potere di far questo è che, ragionando a questo modo all'indietro dai generali ai particolari, le proposizioni cui arriviamo si applicano ad un'immensa moltitudine di combinazioni e di casi che non furono mai individualmente contemplati nell'operazione mentale per cui gli assiomi nostri furono da principio scoperti; e che per conseguenza, quando i nostri raziocini sono spinti sino all'ultimo confine della particolarità, i loro risultamenti appaiono in forma di *fatti individuali*, dei quali la sperienza immediata non ci avrebbe forse somministrata conoscenza alcuna; e così non solamente otteniamo la spiegazione di tutti i fatti conosciuti, ma eziandio la scoperta di quelli che prima non

si conoscevano. Un notevole esempio di questo è già stato addotto nella scoperta *a priori* di Fresnel, della rifrazione straordinaria di entrambi i raggi in un corpo doppiamente refrangente. Per dare un altro esempio: la legge di gravitazione è un assioma fisico di una natura assai grande ed universale, ed è stato stabilito da una serie d'induzioni e di astrazioni tratte dall'osservazione di numerosi fatti e di leggi subordinate nel sistema planetario. Concessa questa legge e posta per base del raziocinio, ed applicata all'attuale condizione del nostro pianeta, una delle conseguenze cui ci mena, si è che la terra invece di essere una sfera esatta, debb'essere compressa o stiacciata nella direzione del suo diametro polare, l'un diametro essendo men lungo dell'altro di circa trenta miglia; e questa conclusione dedotta primamente col semplice raziocinio, fu poscia trovata vera nel fatto. Tutte le predizioni astronomiche sono esempi della stessa cosa.

89. Nell'importante bisogna di stabilire questi assiomi della natura non siamo intieramente lasciati senza guida come nell'analisi dei fenomeni. L'indole del raziocinio astratto o generale indica in gran parte l'andamento che dobbiamo seguire. Una legge di natura essendo la dichiarazione di ciò che accadrà in certe contingenze generali, può essere considerata come l'espressione, nei medesimi termini, di un gruppo intero o classe di fenomeni. Ogni qual volta adunque scorgiamo che due o più fenomeni concordano in tanti o sì notevoli punti, da farsi riguardare come formanti una classe o gruppo per se stessi, se facciamo *astrazione* di tutte le circostanze nelle quali discordano, e

riteniamo nella mente quelle sole in cui sono concordi, creando, sotto questa specie di convenzione mentale, una definizione di uno di loro in tali parole che si applichino egualmente a tutti, questa definizione apparirà nella forma di una proposizione generale avente sino a questo punto il carattere di una legge di natura.

90. Per esempio: un gran numero di sostanze trasparenti, allorchè sono in un certo modo particolare esposte a un raggio di luce, stata preparata sottoponendola a certe riflessioni o rifrazioni (per cui ha acquistate proprietà peculiari e si dice *polarizzata*) presentano vivacissimi e bellissimi colori, disposti in iscreziature, in nastri ecc. di una gran regolarità, che paiono nascere nella sostanza medesima, e che per una certa successione regolare osservata nella loro apparizione si chiamano *colori periodici.* Fra le sostanze che offrono colori periodici havvi un gran numero e vario di solidi trasparenti, ma nessun fluido e nessun solido opaco. Qui adunque pare che esista una sufficiente comunione di natura, poichè possiamo far uso di una espressione generale ad enunciare come legge questa proporzione, — che i *solidi trasparenti* presentano colori periodici essendo esposti ad una luce polarizzata. Tuttavia questo, sebben vero di molti, non si applica a *tutti* i solidi trasparenti, e perciò non possiamo enunciarlo come una verità generale o una legge di natura in questa forma; quantunque la proporzione rovesciata, che tutti i solidi i quali presentano simili colori in simili circostanze sono *trasparenti*, sarebbe corretta e generale. Diviene pertanto

necessario di fare una lista di quelli cui la proposizione si applica; e così un gran numero di sostanze di ogni specie si raccolgono insieme in una classe collegata da questa proprietà comune. Se esaminiamo gl'individui di questo gruppo, vi troviamo la più gran varietà di colore, di struttura, di peso, di durezza, di forma e di composizione; di modo che, sotto questi aspetti pare che ci siamo abbattuti in una riunione di contrari. Ma allorquando veniamo ad esaminarli da vicino in tutte le loro proprietà, troviamo che concordano tutti in un punto, nella proprietà della doppia rifrazione (vedi § 22), e che perciò possiamo descriverli tutti con verità, siccome *sostanze doppiamente rifrangenti*. Quindi possiamo dichiarare questo fatto nella seguente forma: « le sostanze doppiamente rifrangenti offrono colori periodici venendo esposte alla luce polarizzata » ed in questa forma la proposizione, dietro ad ulteriore esame, è trovata giusta non solamente per quei casi particolari che avevamo in mente quando prima la proponevamo, ma in tutti quelli che sono poscia occorsi dopo ulteriori ricerche, e senza una sola eccezione; di modo che la proposizione è generale e ha diritto di essere riguardata come una legge della natura.

91. Possiamo dunque riguardare una legge della natura sotto due aspetti, 1° come una proposizione generale che annunzia in termini astratti un gruppo intero di fatti particolari relativi al diportamento di agenti naturali in certe proposte circostanze; 2° come una proposizione la quale annunzia che una classe intera d'individui concordanti in un carattere concor-

dano pure in un altro. Per esèmpio: nel caso di cui abbiamo parlato, la legge stabilita, nella sua espressione generale, inchiude fra gli altri i fatti particolari che il cristallo di rocca e il salnitro offrono colori periodici; poichè queste sono entrambe sostanze doppiamente rifrangenti. Oppure può essere riguardata come annunziante una relazione fra i due fenomeni della doppia rifrazione e dell'offrire colori periodici; che nel caso presente è una delle più importanti, come relazione di *associazione costante,* in quanto che afferma che in qualunque individuo si trovi uno di questi caratteri, l'altro vi si troverà pure invariabilmente.

92. Questi due aspetti sotto i quali l'espressione di una legge generale può essere riguardata, quantunque vengano ad essere nel fatto una sola cosa, differiscono tuttavia grandemente nel loro modo d'influire sulla nostra mente. Il primo non offre quasi altro che una specie di memoria artificiale; ma l'altro diviene un passo nell'investigazione filosofica, conducendo direttamente alla considerazione di una causa prossima se non finale; imperciocchè ogni qual volta si osserva che due fenomeni sono invariabilmente connessi, noi concludiamo che sono in relazione l'uno coll'altro, o come causa ed effetto, o come effetti comuni di una sola causa.

93. Havvi ancora un altro aspetto sotto il quale possiamo riguardare una legge della specie di cui parliamo; vale a dire come una proposizione affermante la connessione mutua, o in alcuni casi l'assoluta identità di due classi d'individui (tanto oggetti quanto fatti individuali); e questo è forse il modo più sem-

plice e più istruttivo in cui si possa concepire, e quello che somministra i mezzi più facili per una maggiore generalizzazione nel formare assiomi di una ancor più sublime natura. Per esempio: nel caso sopra menzionato, se l'osservazione ci avesse posti in grado di stabilire l'esistenza di una classe di corpi possedenti la proprietà della doppia rifrazione; o se osservazioni di un' altra specie, indipendentemente dalla prima, ci avessero condotti a riconoscere una classe dotata di quella di presentare colori periodici nella luce polarizzata, un semplice confronto di note dimostrerebbe a un tratto l'identità delle due classi, o ci darebbe il mezzo di verificare se l'una fosse o non fosse inchiusa nell' altra.

94. Così vediamo l'alta importanza nella scienza fisica di classificazioni giuste ed accurate di fatti particolari o di oggetti individuali, sotto divisioni generali e ben ponderate, o sotto i punti nei quali concordano (alla qual cosa nulla è più conducente degli stessi fenomeni semplici ai quali sono ridotti dall'analisi); perciocchè nel far questo, ciascuno di tali fenomeni o capi di classificazione diviene un fatto non particolaré ma generale; e quando abbiamo radunata una gran quantità di simili *fatti generali*, essi divengono gli oggetti di una novella e più alta specie di classificazione, e vengono anch' essi inchiusi entro leggi le quali, siccome dispongono di gruppi e non d'individui, hanno un molto maggior grado di generalità, finchè continuando quest'operazione arriviamo finalmente ad assiomi del massimo grado di generalizzazione di cui la scienza sia capace.

95. Questo è ciò che intendiamo per induzione: e da quanto si è detto si ricava che l'induzione può procedere in due maniere diverse, — o col semplice confronto e paragone di classi verificate, notando quelle cose in cui concordano o sono discordi; o veramente considerando gl'individui di una classe ed omettendo di cercare in che particolare tutti concordino, oltre a quello che serve di principio della loro classificazione. L'uno o l'altro di questi metodi può essere praticato secondo le facilità che possono procurare nei vari casi; ma naturalmente accadrà, che dove i fatti sono numerosi, ben osservati e metodicamente disposti, il primo sarà meglio applicabile che nel caso contrario: l'uno è più adattato alla maturità, l'altro all'infanzia della scienza: l'uno impiega, come una macchina, la divisione del lavoro; l'altro s'appoggia principalmente sulla sagacità individuale, e richiede l'unione di molte parti di sapere in una sola persona.

CAPITOLO III

Dello stato della scienza fisica in generale, prima dei tempi di Galileo e di Bacone.

96. Al nostro immortale compaesano Bacone è dovuta la promulgazione di questo grande e fertile principio, e lo sviluppo dell'idea che tutta la filosofia naturale consiste intieramente in una serie di generalizzazioni induttive, aventi principio dai particolari

verificati nelle più minute loro circostanze, e proseguite sino alle leggi universali o assiomi, che comprendono nella loro enunciazione ogni grado subordinato di generalità; — e in una serie corrispondente di raziocini inversi dai generali ai particolari, per cui questi assiomi sono rintracciati nelle loro più remote conseguenze, e in tutte le proposizioni particolari da essi dedotte; tanto quelle per la cui immediata considerazione siamo saliti alla loro scoperta, quanto le altre di cui non avevamo alcuna previa conoscenza. Nel discendere così ai particolari, dobbiamo di necessità incontrare tutti quei fatti dai quali dipendono le arti e le opere che tendono ai comodi dell'umana vita, ed acquistare per questo mezzo una pratica illimitata e la facoltà di disporre dei poteri della natura, estensiva quanto quei poteri medesimi. Nobile promessa in vero, e che dovrebbe certamente animarci a fare il miglior uso possibile delle nostre facoltà; specialmente dappoichè abbiamo una prova cotanto convincente che non è nè vana, nè temeraria, ma che al contrario è stata, e continua ad essere adempiuta con una prontezza ed una generosità, che il suo illustre autore nel suo maggiore entusiasmo avrebbe appena osato sperare.

97. Prima della pubblicazione del *Novum Organum* di Bacone, appena si poteva dire che la filosofia naturale esistesse in un senso legittimo ed esteso della parola. Nei filosofi greci, de' cui progressi nella sola scienza, ai tempi antichi, abbiamo qualche positiva ma assai limitata conoscenza, siamo sorpresi dallo strano contrasto esistente tra la facoltà di acutamente

e sottilmente disputare, la straordinaria attitudine al ragionare astratto, e l'intima familiarità con soggetti puramente intellettuali che mostravano da una parte, e la vaga e trascurata considerazione della natura esterna dall'altra, accompagnata da mal ragionate deduzioni di principii, generalizzati all'eccesso da pochi fatti mal osservati; da una temeraria dichiarazione di principii astratti, non aventi alcun fondamento se non nelle loro imaginazioni; mere forme di parole, senza nulla che loro corrispondesse in natura, dalle quali, come da definizioni, supposizioni ed assiomi matematici, pensavano che tutti i fenomeni potessero essere derivati e tutte le leggi della natura dedotte. Così per esempio avendo fissato nelle loro menti che un circolo è la più perfetta delle figure, ne conchiudevano che i movimenti dei corpi celesti debbono farsi in circoli esatti e con moti uniformi; e quando la più comune osservazione dimostrava il contrario, invece di dubitare del principio non vedevano miglior via di scansare la difficoltà, se non quella di ricorrere a combinazioni infinite di movimenti circolari per salvare la loro perfezione ideale.

98. Senza dubbio v'erano tra i filosofi greci, molti uomini d'ingegno e di virtù trascendenti, ornamento della loro specie e giustamente meritevoli della venerazione di tutta la posterità; ma considerati come corpo possono appena essere riguardati altramente che come una schiera di disputanti pretendenti al favore popolare, troppo occupati a mantenere il loro credito sui loro seguaci ed ammiratori, come un ostentazione di un sapere superiore, per aver tempo (quan-

d'anche ne avessero avuto l'inclinazione) di dare alle loro pretese un profondo e sicuro fondamento, e tuttavia troppo sensitivi al disonore ed alle conseguenze di una cattiva riuscita, per non difendere i loro dommi, quali che si fossero, una volta che erano promulgati, contro i loro ardenti e sagaci oppositori, col far uso di ogni sofismo e coll' eccitare le stesse passioni. Quindi le mal digerite e chimeriche supposizioni delle quali i loro sistemi di filosofia naturale e morale erano pieni; le loro interminabili dispute intorno a sottigliezze verbali, e, quel che è peggio, l' orgogliosa fierezza con la quale nascondevano l' ignoranza e l' indolenza sotto il manto di un gergo inintelligibile o di dommatiche asserzioni. Tuttavia questo carattere è forse maggiormente da attribuirsi ai più moderni che ai più antichi dei filosofi greci. Lo spirito d'investigazione razionale della natura, se possiamo giudicare dalle notizie incerte e spesso contraddittorie che ci pervennero delle loro dottrine, sembra essere stato assai più vivo, e meno traviato da questi modi vani ed arroganti, fra gli antichi che nei tempi posteriori. Non conosciamo adesso quale fosse il preciso significato che Talete dava alla sua opinione, che l' acqua era l'origine di tutte le cose; ma i moderni geologi facilmente comprenderanno come un osservatore potesse, viaggiando, concepire quest' idea senza aver ricorso alle mistiche tradizioni dell' Egitto o della Caldea. Le sue idee degli ecclissi e della natura della luna erano sane; e la sua predizione di un ecclisse del sole, in particolare, fu accompagnata da circostanze così notevoli, da renderla ai moderni astronomi soggetto

d'importante investigazione. Anassagora, in mezzo a un numero di nozioni indigeste e imperfettamente spiegate, specolò in un modo abbastanza razionale sulla causa dei venti e dell'arcobaleno, e meno assurdamente sui terremoti, che non si facesse da molti geologi moderni, e sembra in generale aver posto attenzione alla natura e aver avuto una mente aperta ad un giusto raziocinio sui fenomeni di lei; mentre Pittagora, sia che vi giungesse col suo proprio raziocinio o che traesse questa nozione dall'Egitto o dall'India, era arrivato ad un giusto concepimento della disposizione generale delle parti del sistema solare e del luogo che la terra vi occupa; anzi, secondo il dire di alcuni, aveva persino innalzato le sue viste al punto di specolare sull'attrazione del sole come vincolo della sua unione.

99. Ma i successori di questi sinceri investigatori della natura alterarono la misura del vero, e prevalendosi del credito giustamente acquistato dalle loro scoperte, rinunziarono al modesto carattere di studiosi e si fecero maestri, prendendo, per mantenere le loro pretese, il linguaggio d'uomini che non avevano più nulla da imparare. Sgraziatamente per la vera scienza, l'indole nazionale dava pieno incoraggiamento ad arroganze di questa fatta. Quell'irrequieto desiderio di novità che distinse i Greci nella loro esistenza civile e politica, influì pure sulla loro filosofia. Qualunque specolazione, purchè fosse ingegnosa e nuova, aveva un allettamento irresistibile; e il maestro che poteva inviluppare un bel pensiero in linguaggio elegante, o risparmiare a sè e ai suoi seguaci

la fatica di pensare e di ragionare, con un'asserzione audace, era troppo spesso indotto ad acquistare a buon mercato la riputazione di un sapere superiore, a valersi di poche nozioni superficiali tratte dai fatti più ovvii e più ordinari, ad avvolgerli in una pompa di parole astruse, a dichiararli primi e finali principii di tutte le cose, e a denunziare come assurde ed empie tutte le opinioni opposte alla sua.

100. In questa guerra di parole lo studio della natura era trascurato, ed un'umile e paziente investigazione di fatti era al tutto disprezzata, come indegna di quell'altezza che un vero filosofo doveva *a priori* occupare. Fu un errore radicale nella filosofia greca l'imaginare che lo stesso metodo il quale riusciva cotanto felice nelle investigazioni matematiche fosse pur tale nelle fisiche, e che partendo da poche, semplici e quasi di per sè evidenti nozioni, o assiomi, ogni cosa ne potesse essere ricavata per raziocinio. Epperò li vediamo costantemente rivolgere la loro invenzione a scoprire quei principii che dovevano divenire così fecondi. Uno tiene che il *fuoco* sia la materia essenziale e l'origine dell'universo; un altro vuole che sia l'*aria;* un terzo scuopre la chiave d' ogni difficoltà e la spiegazione di ogni fenomeno nel το απειρον o infinità delle cose; un quarto nel το ὀν e nel το μη ὀν, cioè nell'essere e nel non essere; — finchè finalmente un' autorità, la quale era destinata a imperare sulle opinioni per quasi due mil'anni, decise questo punto importante col dichiarare che la *materia*, la *forma* e la *privazione* dovevano essere considerate per principii di tutte le cose.

101. Sarebbe tuttavia un far torto ad Aristotile il giudicarlo da *questo saggio* della sua filosofia. Egli vide almeno la necessità di aver ricorso alla natura per ricavarne qualche cosa che somigliasse a'principii della scienza fisica; e come osservatore, raccoglitore e storico di fatti e di fenomeni, non ebbe ai suoi tempi chi lo pareggiasse. Fu colpa dell'età sua, e del perverso e vano stile di verbali disputazioni che aveva infettato ogni dottrina, piuttosto che proprio difetto, se s'indusse a contentarsi di vaghe e sconnesse nozioni tratte da una osservazione generale e volgare, invece di ricercare con diligenza le vere leggi della natura in casi ben disposti e maturamente considerati. Le sue voluminose opere sopra ogni parte del sapere umano esistente a'suoi tempi, sono quasi tutte perite. Dall'opera sua sugli animali, che ci è pervenuta, siamo tuttavia in grado di apprezzare il suo potere d'osservazione; e un paralello fatto da un rinomato professore di Oxford fra le sue classificazioni e quelle de'più illustri naturalisti viventi, dimostra aver egli abbracciato la natura animata in un modo notevolmente comprensivo, il quale forma un sorprendente contrasto con la confusione e coll'incertezza delle arrischiate sue fisiche opinioni e dei suoi dommi. In questi è facile il riconoscere una mente vacillante e che sente la necessità di dire qualche cosa di dotto e di sistematico senza sapere che abbia da dire. Quindi egli divide il moto in naturale e non naturale, il natural moto del fuoco e dei corpi leggeri essendo diretto all'insù, e quello dei gravi all'ingiù, ciascuno in cerca della sua natura affine, nel cielo e nella terra. Quindi le im-

pressioni immediate fatte sopra di noi da oggetti esterni, quali sono la durezza, il colore, il calorico ecc., sono nella filosofia aristotelica riferite senz' altro ad occulte qualità, in virtù delle quali sono come sono, ed oltre cui è inutile lo investigare (1). Certamente vi debbe essere un limite oltre il quale è inutile a facoltà puramente umane di fare investigazione; ma l' espe-

(1) Galileo non la perdona al modo Aristotelico di ragionare. Il lettore può riguardare questa sua analisi come un saggio della qualità dei raziocini del filosofo greco. L'oggetto è di provare l'immutabilità e l' incorruttibilità dei cieli; e così si procede:

I. Mutazione è generazione o corruzione.

II. Generazione e corruzione solamente accadono fra contrari.

III. I movimenti dei contrari sono contrari.

IV. I movimenti celesti sono circolari.

V. I movimenti circolari non hanno contrari.

a. Perchè non ci possono essere se non tre movimenti semplici:

1. Ad un centro.
2. Intorno ad un centro.
3. Da un centro.

b. Di tre cose una sola può essere contraria ad una di esse.

c. Ma un movimento a un centro è manifestamente l' opposto del movimento da un centro.

d. Dunque un movimento *intorno* ad un centro (cioè il movimento circolare) rimane senza contrario.

VI. *Dunque* i movimenti celesti non hanno contrari —*dunque* fra le *cose* celesti non vi sono contrari — *dunque* i cieli sono eterni, immutabili, incorruttibili, ecc. ecc.

Egli è evidente che tutta l' assurdità di questo argomento dipende dalle troppo vaghe nozioni di generazione, corruzione, contrari ecc., dalle quali si parte. Vedi Galileo, *Systema Cosmicum*, Dial. 1., pag. 30.

rienza sola ci può insegnare dove sia posto questo limite; e l'asserire che ci siamo giunti, è adesso universalmente riconosciuto come cosa soltanto fatta per chi dogmatizza.

102. Nei primi secoli della Chiesa, gli scritti di Aristotile non erano approvati, siccome quelli che davano troppo largo campo alla ragione ed al senso. Gradatamente quest'avversione venne a cessare, ed essi divennero lo studio prediletto degli scolari, e somministrarono le armi più affilate delle loro controversie, facendovisi appello in tutte le quistioni come autorità sovrana; di modo che il più leggero dissentire da qualunque opinione del *gran maestro*, benchè assurda e inintelligibile, era tosto soffocato dalle vociferazioni o ridotto al silenzio dall'argomento ancora più efficace della persecuzione. Se la logica di quei tempi tenebrosi può giustamente essere descritta come « l'arte di parlare in un modo inintelligibile sopra cose che ignoriamo », la sua fisica potrà, con egual verità, essere compendiata in una deliberata preferenza dell'ignoranza al sapere, nelle cose di uso e di esperienza giornaliera.

103. In queste tenebre della natura e dell'anima, la perversa attività degli alchimisti mandò fuori di tempo in tempo una dubbia scintilla (1); e il nostro

(1) Macquer giustamente osserva che gli alchimisti avrebbero reso servizi essenziali alla chimica, se avessero riferito i loro sperimenti infelici, con chiarezza eguale all'oscurità con cui riferirono quelli che pretendono essere stati felici. Macquer, *Dizionario di Chimica*, i, x.

illustre concittadino Ruggiero Bacone sfavillò nel momento più oscuro come una stella mattutina che annunzia l'aurora. Non prima però del decimosesto secolo cominciò la luce della natura a sorgere e in modo regolare e progressivo a diffondersi. Le millanterie di Paracelso sul potere de' suoi rimedi ed elisiri chimici, e la sua aperta condanna della farmaceutica antica, sostenute come erano da molte sorprendenti guarigioni, convinsero tutti i fisici ragionevoli che la chimica poteva somministrare più d'un eccellente rimedio sconosciuto sino a quel tempo (1), e molti preziosi sperimenti si cominciarono a fare da fisici e chimici desiderosi di scoprire e di descrivere nuovi chimici rimedi. Le arti chimiche e metallurgiche, esercitate da persone empiricamente istrutte dei loro segreti, cominciarono ad essere seriamente studiate collo scopo d'acquistare un sapere razionale ed utile, e trattati regolari su parti della scienza naturale finalmente comparvero. Giorgio Agricola, in particolare, si consacrò con ardore allo studio della mineralogia e della metallurgia nei distretti delle miniere di Boemia e di Schemnitz, e pubblicò copiosi e metodici ragguagli di tutti i fatti venuti a sua cognizione: ed il nostro com-

(1) Paracelso operò la maggior parte di queste guarigioni col mercurio e coll'oppio, del quale ultimo aveva imparato l'uso in Turchia. I fisici del suo tempo ignoravano le preparazioni mercuriali, e temevano l'oppio siccome *freddo in quarto grado*. Il tartaro era pure grandemente prediletto da Paracelso, che gl'impose questo nome «perchè contiene l'acqua, il sale, l'olio e l'acido che ardono il paziente come fa l'inferno:» in una parola era una specie di contro bilancia al suo oppio.

paesano il dottore Gilberto di Colchester, nel 1590, pubblicò un trattato sul magnetismo, pieno di fatti e di sperimenti preziosi ingegnosamente ragionati. Le sue investigazioni si estesero parimente a vari altri soggetti ed in particolare all' elettricità.

104. Ma, siccome segno manifesto di un gran cambiamento incipiente nella direzione delle umane facoltà, l'astronomia, sola scienza in cui gli antichi avessero fatto veri progressi e fossero saliti in qualche modo a larghi e generali concepimenti, cominciò di bel nuovo ad essere studiata nel migliore spirito di una candida filosofia; e il sistema copernicano o pittagoreo risorse e rapidamente si acquistò fautori. Galileo finalmente comparve ad apertamente confutare i dogmi aristotelici intorno al moto, con un appello diretto alla testimonianza dei sensi e con isperimenti della natura più convincente. Le persecuzioni che ebbe a sopportare, la sua perseveranza e i suoi patimenti, e il trionfo finale delle sue opinioni e de' suoi raziocini sono stati troppo recentemente e troppo bene narrati (1), perchè si richiegga di qui ripeterli.

105. Con le scoperte di Copernico, Keplero e Galileo, gli errori della filosofia aristotelica furono efficacemente rovesciati da un semplice richiamo ai fatti della natura; ma rimaneva a dimostrarsi su larghi e generali principii, come e perchè Aristotile avesse errato; a mettere in evidenza la peculiare debolezza del suo metodo di filosofare, ed a sostituirne in sua vece

(1) Vedi la vita di Galileo Galilei del Drinkwater, con illustrazioni dei progressi della filosofia sperimentale.

uno più robusto e migliore. Quest' opera importante fu eseguita da Francesco Bacone da Verulamio, il quale perciò sarà giustamente riguardato in tutte le venture età come il gran riformatore della filosofia, quantunque il suo vero contributo al capitale delle verità fisiche fosse picciolo, e le sue idee di alcuni soggetti particolari fossero fortemente improntate da errori, che erano piuttosto una conseguenza della mancanza generale di cognizioni fisiche in quel secolo, che di alcuna picciolezza di viste dal suo canto; e di questo egli era pienamente consapevole. Taluni tentarono di scemare il merito di questa grande opera, col dimostrare che il metodo induttivo era stato praticato in molte occorrenze, tanto antiche quanto moderne, per mero istinto del genere umano; ma non è già l'introduzione del raziocinio induttivo, come nuovo e per l'addietro non tentato metodo, che caratterizza la filosofia di Bacone, ma la sua sottile percezione, ed il suo largo, animatore e quasi entusiastico annunzio della sua incomparabile importanza, siccome l'alfa e l'omega della scienza, la grande e sola catena atta a legare insieme le verità fisiche, e la futura chiave d'ogni scoperta e d'ogni applicazione. Coloro che gli negassero per questa ragione la sua giusta gloria, negherebbero a Jenner e a Howard le loro corone civiche, perchè alcuni contadini in una remota provincia abbiano in tempi lontanissimi conosciuto il vaccino, o filantropi in ogni tempo abbiano visitato il prigioniero nella sua segreta.

106. Un immenso impulso era finalmente dato alla scienza, e sembrava quasi che il genio del genere

umano, lungamente imprigionato, si fosse alla fine avidamente gettato sulla natura ed avesse cominciato la grand'opera di rivolgerne il suolo per l'addietro intatto e di esporne i tesori per tanto tempo nascosti. Prevaleva un sentimento generale della povertà e della insufficienza delle cognizioni esistenti in *cose di fatto;* e di mano in mano che le cognizioni rapidamente si accrescevano, appariva un'era di agitazione e di maraviglia, cui gli animali del genere umano non avevano mai presentato nulla di simile. Sembrava pure che la natura stessa secondasse l'impulso; e mentre somministrava nuovi e straordinari aiuti a quei sensi che dovevano in avvenire essere impiegati ad investigarla, — mentre il telescopio e il microscopio mostravano l'*infinito* in ambe le direzioni, — quasi per chiamare l'attenzione ai suoi portenti, e segnalare quell'epoca, ella spiegò il più raro, il più splendido e misterioso di tutti i fenomeni dell'astronomia, — l'apparizione e la susseguente totale estinzione di una nuova e sfolgoreggiante stella fissa, per due volte durante la vita del medesimo Galileo (1).

107. I seguaci immediati di Bacone e di Galileo rovistarono in tutta la natura in cerca di fatti nuovi e sorprendenti, con quella spezie di ardore pel maraviglioso, che può essere riguardato come un avanzo dei secoli dell'alchimia e della magia naturale, ma che,

(1) La stella temporaria in Cassiopea, osservata da Cornelio Gemma nel 1572, era così sfavillante da esser veduta di mezzo giorno. Quella nel Serpentario, primamente veduta da Keplero nel 1604, eccedeva in splendore tutte le altre stelle e tutti i pianeti.

ben regolato, diviene un potentissimo ed utilissimo stimolo alle ricerche sperimentali. Boyle in particolare sembrava animato da un ardente entusiasmo che lo spingeva di cosa in cosa, e di sperimento in isperimento senza un momento di tregua e con una specie di appetito indistinto; mentre Hooke (il grande contemporaneo e quasi degno rivale di Newton) portò un più acuto sguardo di scrutante ragione in un campo di ricerche ancora più vasto. Di mano in mano che i fatti si moltiplicavano, i principali fenomeni divenivano prominenti, le leggi cominciavano ad emergere e la generalizzazione ad aver effetto; e così rapido fu il corso delle scoperte, così manifesto il trionfo della filosofia induttiva, che una sola generazione, e gli sforzi di una sola mente bastarono a stabilire il sistema dell'universo su di una base che non sarà mai più per crollare.

108. Procureremo adesso di enumerare e di spiegare minutamente i passi principali per cui si arriva a legittime ed estese induzioni, e i metodi per cui la mente nella investigazione delle leggi naturali si purga successivamente degl'ingombri e delle superfluità che avvolgono i fatti particolari ed oscurano la percezione dei loro punti di somiglianza e di connessione. Indicheremo gli aiuti che in un'opera di tanti pensieri e di tanta fatica, possiamo ricavare da un andamento metodico, e da una diligente attenzione a quei mezzi che in qualunque tempo hanno avuto un esito felice, collo intento di meglio comprenderli e di adattarli ad altri casi; specie di mentale induzione di non poca utilità ed estensione in se stessa; in quanto che colti-

vando lei sola possiamo giungere ad una conoscenza, più intima di quella che abbiamo, delle leggi che dirigono la nostra scoperta del vero e delle regole, per quanto si estendono, cui l'invenzione può essere ridotta. Nel far questo comincieremo dal vero principio che è l'esperienza stessa considerata come accumulazione della conoscenza di oggetti e di fatti individuali.

CAPITOLO IV

Dell' osservazione di fatti e della collezione di esempi.

109. La natura ci offre due sorta di soggetti di contemplazione nel mondo esterno, — gli oggetti e le loro mutue azioni. Ma dopo ciò che è stato detto intorno alla sensazione, il lettore s'accorgerà facilmente che non sappiamo nulla degli oggetti stessi che compongono l'universo, tranne per mezzo delle impressioni che eccitano in noi, impressioni che sono il risultamento di certe azioni ed operazioni in cui gli oggetti sensibili e le parti materiali di noi medesimi sono direttamente interessati. La nostra osservazione della natura esterna è perciò limitata all'azione mutua di oggetti materiali l'uno su dell'altro; ed ai fatti, vale a dire all'associazione di fenomeni o di apparenze. Non acquistiamo cognizione alcuna dal vedere semplicemente che un oggetto è nero: ma se vediamo nello stesso tempo ch'esso è fluido, acquistiamo almeno la

cognizione che la nerezza non è incompatibile con la fluidità, e così abbiamo fatto un passo, sebbene picciolissimo, verso la conoscenza della più intima natura di queste due qualità. Ogni qual volta adunque vogliamo analizzare un fenomeno in altri più semplici, o indagare quale sia il corso o la legge della natura sotto una data contingenza generale, il primo passo da farsi si è di accumulare una sufficiente quantità di fatti ben verificati o di esempi riferiti che abbiano relazione col punto in quistione. Il buon senso ci suggerisce questo, come atto a somministrarci i mezzi di esaminare lo stesso oggetto sotto vari aspetti; e ci suggerirà pure che più i fatti raccolti saranno differenti in tutte le altre circostanze, fuorchè quella che è soggetto dell'investigazione, tanto più saranno pregevoli: perchè sono allora in certo modo posti in contrasto l'uno coll'altro nei loro punti di discordanza, e così tendono a rendere più prominenti e più degni d'attenzione quelli in cui concordano.

110. I soli fatti che possano diventar utili come fondamenti d'investigazione fisica, sono quelli che accadono uniformemente e invariabilmente nelle medesime circostanze. Questo è evidente: perchè se non hanno questo carattere, non possono essere compresi in leggi, mancando di quella universalità che li rende atti ad entrare come particelle elementari nella costituzione di quegli assiomi universali che è nostro scopo di discoprire. Se un solo e medesimo risultato non si mostra costantemente sotto una data combinazione di circostanze, apparentemente la stessa, una di due cose è da supporsi, — capriccio (ossia intervento ar-

bitrario di un agente mentale), o differenza nelle circostanze realmente esistenti, ma da noi inosservate. Nell'uno e nell'altro caso, sebbene per noi si notino questi fatti come curiosità, o per aspettare una spiegazione quando la differenza delle circostanze sarà intesa, non possiamo farne uso nelle scientifiche investigazioni. Quindi allorchè osserviamo un effetto notevole di qualunque specie, la nostra prima domanda debb' essere, — può esso venir riprodotto? quali sono le circostanze sotto le quali è accaduto? E accadrà egli *sempre* nuovamente se queste circostanze, per quanto siamo stati capaci di raccoglierle, coesisteranno?

111. Le circostanze adunque che accompagnano un fatto osservato, sono i principali lineamenti nella sua osservazione, almeno finchè non sia verificato da una sufficiente esperienza quali siano quelle che non hanno nulla da fare con esso, e che avrebbero perciò potuto essere lasciate inosservate senza nuocere al *fatto*. Nell'osservare e nel notare un fatto intieramente nuovo, non dobbiamo pertanto ommettere alcuna circostanza capace di esser notata, per timore non qualcheduna delle circostanze ommesse sia essenzialmente connessa col fatto, e la sua ommissione non riduca l'implicita enunciazione di una *legge di natura* alla mera annotazione di un avvenimento storico. Per esempio, nella caduta di sassi meteorici, guizzi di fuoco sono veduti procedere da una nuvola, e si ode un forte rumore rimbombante come il tuono. Queste circostanze, e il subito colpo distruggitore che segue, fecero che lungamente fossero confusi con un effetto della

folgore e fossero chiamati fulmini. Ma una sola circostanza è sufficiente a dimostrare la differenza; il guizzo e il suono furono veduti alcune volte procedere da una *picciolissima nuvola* isolata in un *cielo sereno*, combinazione di circostanze che mai non accade nell'uragano, ma che è senza dubbio intimamente connessa con la loro vera origine.

112. L'osservazione annotata ha due parti distinte: 1° Una cognizione esatta della cosa osservata e di tutti i particolari che si possono supporre avere con essa una connessione naturale; 2° Un modo di annotare vero e fedele. Siccome i nostri sensi sono le sole porte per cui riceviamo impressioni di fatti, dobbiamo aver cura di osservare che siano tutti in attività, e che nulla sfugga di ciò che a ciascuno di essi si riferisce. Epperò, se il fulmine cadesse sulla casa che abitiamo, dovremmo notare la specie di luce che abbiamo veduta, — se fosse una falda dilatata di fiamma, una scintilla dardeggiante o una striscia interrotta; in che direzione si muovesse, a quali oggetti aderisse, il suo colore, la sua durata, ecc; quali suoni si siano uditi, — se di scoppio, o di rovina, se rimbombante, momentaneo, o gradatamente crescente e dileguantesi, ecc.; se vi fosse odore sensibile di fuoco, e se sulfureo, metallico, o quale sarebbe meramente prodotto dalle sostanze arse dalla fiamma, ecc.; se abbiamo provato qualche scossa o sensazione particolare, o sentito qualche strano sapore in bocca. Poscia, oltre al particolareggiare gli effetti del colpo, si dovrebbero notare tutte le circostanze che in qualunque grado sembrerebbero aver potuto attraerlo, produrlo

o modificarlo, quali sono la presenza di conduttori, gli oggetti vicini, lo stato dell'atmosfera, il barometro, il termometro, ecc., e la disposizione delle nuvole; e dopo tutte queste particolarità la quistione, *perchè* la casa *sia stata colpita*, potrebbe finalmente dipendere dal fatto che un lampo di folgore a venti miglia di distanza passò in quello stesso momento *dalla terra alle nuvole* per un effetto di ciò che fu chiamato contraccolpo.

113. Uno scrittore narra nel giornale filosofico di Edimburgo (1) di essere stato indotto a fare una serie d'investigazioni sulla natura chimica di un acido particolare, dall'avere accidentalmente osservato un sapore amaro in un liquido che si stava per gettar via. La chimica è piena di questi accidenti.

114. Nei fenomeni passeggeri, se il numero dei particolari sarà grande, e il tempo di osservarli breve, dobbiamo consultare la memoria prima che ne siano svaniti, o rinfrescarla rimettendoci per quanto sarà possibile nelle medesime circostanze, tornando, per esempio, sul luogo, e verificando le parole adoperate con ricorrere alle inclinazioni rimanenti, ecc. Questo è più specialmente necessario quando non abbiamo noi stessi osservato, ma raccogliamo soltanto e notiamo le osservazioni altrui, particolarmente di persone illetterate o pregiudicate, intorno a qualche raro fenomeno, qual è il passaggio di una gran meteora, — la caduta di un sasso dal cielo, — una scossa di terremoto, — una grandine straordinaria, ecc.

(1) Giornale filosofico di Edimburgo, 1819, vol. 1, p. 8.

115. In tutti i casi che ammettono numerazione o misura, egli è della massima importanza l'ottenere dati numerici nella misura del tempo, dello spazio o della quantità di ogni genere. L'ommetter questo è un esporci prima di tutto alle illusioni dei sensi che possono condurre agli errori più grossolani. Così nelle contrade alpine, siamo costantemente ingannati nelle altezze e nelle distanze: e quando abbiamo vinta la prima impressione che c'inclina a star al di sotto del vero estimo, siamo allora non meno proclivi a cadere nell'opposto difetto. Ma la precisione numerica non è semplicemente desiderabile per salvarci dalle impressioni esagerate. Essa è l'anima della scienza; e il conseguirla somministra la sola pietra di paragone o almeno la migliore, della verità delle teorie e della esattezza degli sperimenti. L'ommissione di esatte determinazioni numeriche della quantità fu la sola cagione degli errori e della confusione della chimica di Stahl,— confusione che si dileguò come la nebbia del mattino tosto che la precisione, in questa parte, venne ad essere riguardata come essenziale. La chimica è nel grado più eminente una scienza di quantità; e l'enumerare le scoperte che vi si son fatte per la mera determinazione dei pesi e delle misure, sarebbe quasi lo stesso che il dare un quadro sinottico di questa scienza. Ci basti il far menzione della legge di proporzioni definite, la quale fissa la composizione di ogni corpo nella natura in determinati pesi proporzionali de'suoi ingredienti.

116. E a dir vero egli è un carattere di tutte le maggiori leggi della natura l'assumere la forma di

una precisa proposizione *quantitativa*. Così la legge della gravitazione, la più universale delle verità cui l'umana ragione sia sin ora potuta giungere, non esprime semplicemente il fatto generale della mutua attrazione della materia; nè solamente la vaga proposizione che la sua influenza diminuisce in proporzione che la distanza si accresce, — ma l'esatta gradazione numerica nella quale il decremento ha luogo; di modo che, quando se ne conosce l'ammontare ad una data distanza, si può calcolare esattamente per qualunque altra. Così parimente, le leggi della cristallografia, che limitano le forme prese dalle sostanze naturali, lasciate ai loro inerenti poteri di aggregazione, a precise figure geometriche con angoli e proporzioni fisse hanno lo stesso carattere essenziale di stretta espressione matematica, senza del quale nessuna esatta conclusione particolare ne potrebbe essere dedotta.

117. Ma per giugnere a leggi di questa natura è evidente che ogni passo delle nostre investigazioni debb'essere perfettamente libero da ogni menomo grado d'inaccuratezza e d'indecisione, e munito di tutta la forza di una rigorosa enunciazione numerica; e che per conseguenza le osservazioni medesime sulle quali tutte le leggi finalmente riposano, debbono avere la stessa proprietà. Tuttavia niuno dei nostri sensi ci dà un'informazione diretta per l'esatto paragone della quantità. Egli è vero che il numero, vale a dire il numero integro, è un oggetto sensibile, perchè possiamo numerare; ma non possiamo nè pesare, nè misurare parti frazionali, nè farne un preciso estimo

coi soli sensi. Uno potrebbe appena accorgersi della differenza che passa tra venti libbre e lo stesso peso accresciuto o diminuito di poche once: meno ancora potrebbe giudicare della proporzione fra un' oncia d' oro e cento grani di cotone pesandoli con la mano. Per dare un altro esempio: l' occhio non è giudice della proporzione di diversi gradi d' illuminazione, anche veduti accanto l' uno dell' altro; e se vi passa un intervallo e le circostanze cambiano, nulla può essere più vago dei suoi giudizi. Quando al tramontar del sole guardiamo con ammirazione allo stupendo spettacolo delle nuvole dorate, che appaiono rivestite di luce e risplendenti quasi fiamme di vero fuoco, noi possiamo appena indurci con uno sforzo a riguardarle come gli stessi oggetti che sul meriggio passano inosservati quai semplici nuvole biancastre, solamente partecipanti, per la loro gran distanza orizzontale, nella tinta rossastra che i luminari acquistano risplendendo a traverso una grand' estensione de' vapori dell' atmosfera, e in questo modo perdendo anche un tal poco della loro luce. Lo stesso accade nelle nostre estimazioni del tempo, della velocità, e di tutte le altre cose di quantità; esse sono assolutamente vaghe e inadeguate ad esser fondamento di un' esatta conclusione.

118. In quest' emergenza siamo obbligati ad aver ricorso ad aiuti stromentali, vale a dire ad invenzioni che alla vaga impressione dei sensi sostituiranno quella precisa del numero, e ridurranno ogni misuramento al numerare. Per primo preliminare diretto a questo scopo, noi determiniamo *misure* convenienti di peso,

dimensione, tempo, ecc., e inventiamo spedienti per facilmente e correttamente ripeterle quanto ci piace, e numerare quante volte una tal misura unità è contenuta nella cosa, sia che si tratti di peso, di spazio, di tempo o di angolo che intendiamo di misurare; e se sopravanza una parte frazionale, noi la misuriamo come una nuova quantità con parti aliquote della prima misura.

119. Se ogni scientifico investigatore osservasse per sua sola soddisfazione, e ragionasse solamente sulle sue proprie osservazioni, poco importerebbe il far uso più d'una che di un'altra misura, o di un mezzo più che di un altro (purchè fossero giusti); ma se si vuole che le osservazioni una volta fatte rimangano come memorie per tutto l'uman genere e per tutta la posterità (siccome è importantissimo che avvenga), egli è evidentemente di un' altissima importanza che tutti gl'investigatori vadano d'accordo nell'uso di una misura comune, e che questa non sia soggetta a cambiamento pel trascorrere del tempo. La scelta e la verificazione di tali misure, siccome si può facilmente comprendere, è cosa sommamente difficile, se non altro per la mera circostanza che a verificare lo stato inalterato di una misura, dobbiamo paragonarla con altre che forse non sono neppur esse accurate, o almeno hanno bisogno di essere verificate.

120. Qui possiamo soltanto chiamare in nostra assistenza la presunta inalterabilità delle gran leggi della natura, con tutta la sperienza che ha in suo favore, e la ferma persuasione in cui siamo della generale costanza e fermezza di ogni cosa riguardante la massa

gigantesca che abitiamo « il gran globo medesimo ». Epperò nella sua uniforme rotazione sul suo asse, troviamo una misura del tempo, che nulla ci ha sin qui dato ragione di sospettare esser soggetta a cambiamento, e che, paragonata con altri periodi somministrati dalle rivoluzioni di altri pianeti intorno al sole, non ne ha evidentemente sofferto alcuno dai tempi delle più antiche storie. Nelle dimensioni della terra troviamo un'unità naturale della misura dello spazio, la quale possiede in perfezione ogni qualità che si possa desiderare, e nella sua attrazione combinata con la sua rotazione, le ricerche della scienza dinamica ci hanno posti in grado, per mezzo del pendolo, di ottenere un' altra misura invariabile, più raffinata e meno ovvia, egli è vero, nella sua origine, ma possedente un gran vantaggio nella sua capacità di essere prontamente verificata, e che perciò viene facilmente a servire di riscontro all' altra. La prima, cioè il misuramento diretto delle dimensioni della terra, è l' origine del *metro*, unità francese di misura lineare; l' altra ha prodotto il braccio o *yard* inglese. Teoricamente parlando, l' una e l' altra sono egualmente da apprezzarsi; ma quando consideriamo che la *quantità direttamente misurata*, nel caso del metro, è una lunghezza moltissime migliaia di volte comprendente quella dell' unità finale, e nel pendolo o *yard*, essa corrisponde quasi esattamente all' unità medesima, non si può dubitare di dar la preferenza alla prima come misura originale, perchè qualunque errore commesso nell' operazione con cui è determinata, viene ad essere suddiviso nel risultato finale; men-

tre dall'altra parte, ogni minuto errore trascorso nel determinare la lunghezza del pendolo vien moltiplicato colla ripetizione dell'unità in tutti i misuramenti di lunghezze considerevoli operati col *yard*.

121. La stessa mirabile invenzione del pendolo somministra il mezzo di suddividere il tempo sino ad una minutezza quasi illimitata. Un orologio non è altro che un meccanismo per contare le oscillazioni di un pendolo; e per via di quella peculiare proprietà del pendolo, che una vibrazione comincia esattamente dove l'ultima finisce, nessuna parte di tempo è perduta o guadagnata nel soprapponimento delle unità così numerate, di modo che la precisa parte frazionale di un giorno che ciascuna di queste unità misura può essere accertata.

122. Questa peculiare proprietà per cui il *soprapponimento* delle unità di tempo e di peso può essere operato *senza errore*, è cagione di tutta l'accuratezza colla quale il tempo od il peso può essere moltiplicato e suddiviso (1). Lo stesso non può farsi per lo *spazio*, con alcun metodo che sia già da noi conosciuto, cosicchè i nostri mezzi di suddividere lo spazio sono

(1) Il principio astratto della ripetizione in fatto di misura (cioè soprapponimento di unità senza errore) è applicabile ad un gran numero di casi nei quali si richiede che le quantità siano determinate con una minuta scrupolosità. Nella chimica, nel determinare le misure dei pesi atomici dei corpi, egli sembra facilmente e compiutamente applicabile, per via di un metodo che si presenta di per sè ad ogni chimico, e pare la sola cosa che manchi per rendere l'esattezza delle chimiche determinazioni eguale a quella dei misuramenti astronomici.

molto inferiori in precisione. Il bel principio di ripetizione inventato da Borda offre il massimo avvicinamento a questa precisione, ma non può dirsi assolutamente scevro della sorgente d'errore di cui parliamo. Il metodo del *doppio pesamento* che dobbiamo allo stesso illustre osservatore, presenta un esempio del paragone diretto di due pesi eguali indipendenti da quasi ogni sorgente d'errore che possa influire sul paragone di un oggetto con un altro. È stato osservato da Biot che prima dell'invenzione di questo bel metedo gli stromenti non presentavano mezzi perfetti di accertare il peso di un corpo.

123. Ma non basta possedere una misura di questo genere astratto: una vera misura materiale debb'esser costrutta, ed esatti esemplari ne debbono esser ricavati. Questo non è tuttavia molto difficile: la gran difficoltà è di conservarla inalterata di secolo in secolo; perciocchè se non trasmettiamo alla posterità le unità dei nostri misuramenti, *quali le abbiamo noi stessi adoperate*, non legheremo loro se non la metà delle nostre osservazioni. Questa è una cosa troppo trascurata, e sarebbe grandemente da desiderarsi che si desse qualche diretto provvedimento per un oggetto così importante (1).

(1) Esemplari accurati e *perfettamente* autentici del *yard* e della libbra, eseguiti in platino ed ermeticamente sigillati nel vetro, dovrebbero essere deposti profondamente nell'interno di qualche grosso muro di un grande pubblico edifizio, donde non potessero essere tolti se non con una difficoltà sufficiente ad impedire che si toccassero salvo in un alto ed urgente bisogno. Il fatto dovrebbe essere pubblicamente registrato, e la sua memoria conservata da

124. Ma si può domandare, se il nostro misuramento della quantità è così inevitabilmente soggetto ad errore, come mai è possibile che le nostre osservazioni abbiano quella qualità di veracità numerica che si richiede per farne il fondamento di leggi, la cui perfezione distintiva consiste nella loro rigorosa espressione matematica? A questo si risponde in due modi: 1° Che quantunque ammettiamo la necessaria esistenza di errore numerico in ogni osservazione, possiamo sempre determinare un limite che un tale errore non può in ogni caso eccedere; l'estensione di questa *latitudine di errore di osservazione* divien minore in proporzione della perfezione dei mezzi strumentali che possediamo e della cura che si mette nel loro impiego. Nella maggior parte dei misuramenti moderni, essa è in fatto sommamente minuta, e può ancora essere ristretta, quasi ad ogni limite che si voglia, col ripetere le operazioni un gran numero di volte e sotto una gran varietà di circostanze, per pren-

un' iscrizione. E per verità quante pregevoli ed utili cognizioni, dello stato delle arti e del sapere a un dato tempo, potrebbero essere trasmesse alla posterità in una distinta, sensibile e non peritura forma, se invece dell'assurdo ed inutile deposito di poche monete e medaglie nei fondamenti degli edifizi, vi si sostituissero saggi d' ingegnosi strumenti, o compendiose notizie di verità scientifiche, o metodi d' arti e manifatture! I libri conserveranno essi infallibilmente ad una remota posterità tutto ciò che desideriamo si conosca in avvenire di noi e delle nostre scoperte, o tutto quello che la posterità bramerà di saperne? E non potrebbe una cerimonia inutile essere così trasformata in un atto di registrazione, in un archivio perpetuo, di ciò che maggiormente apprezziamo e riconosciamo essere preziosissimo?

der poi la media dei risultati, in cui gli errori di genere opposto si compenseranno finalmente l'un l'altro. 2° V'ha una risposta molto più fondamentale a quest'obbiezione. Nel ragionare sulle nostre osservazioni, l'esistenza e il possibile ammontare di alcun errore di quantitativo debbono sempre essere calcolati, e il grado in cui può influire sulla teoria non debbe mai esser perduto di vista. Nel ragionare retrogrado da osservazioni che si confessano imperfette alle leggi generali, dobbiamo aver cura di sempre riguardare le nostre conclusioni come condizionali, in quanto che possono sentire l'effetto di queste inevitabili imperfezioni: e quando finalmente saremo giunti al più alto punto, ed avremo toccato gli assiomi che ammettono un raziocinio generale e deduttivo, la quistione se *sono* viziate o no da errori di osservazione, rimarrà ancora da decidersi, e dovrà esser l'oggetto di una susseguente verificazione. Questo punto sarà in altro luogo il soggetto di una più distinta considerazione, quando verremo a parlare della verificazione delle teorie e delle leggi di probabilità.

125. Quanto è alle memorie scritte delle nostre osservazioni, esse dovranno non solamente essere particolareggiate ma *fedeli;* vale a dire che dovranno contenere tutto ciò che abbiamo *osservato* e null' altro. Senza alcuna intenzione di falsificarle, possiamo ciò fare a nostra insaputa, a cagione della mescolanza delle idee e del linguaggio di una erronea teoria con quello di un semplice fatto. Così, per esempio, se nel descrivere l'effetto del lampo, dicessimo « il fulmine cadde con violenza contro il fianco d'una casa e ne

spinse dentro il muro », si enuncierebbe un fatto da noi non veduto, e s'indurrebbero i lettori a credere che si tratta di un proietto solido o ponderabile. Il *forte odore di zolfo* che si dice talvolta accompagnare il lampo, è un avanzo della teoria che faceva del tuono e del lampo lo scoppio di una specie di polvere aerea composta di esalazioni sulfuree e nitrose. V'hanno alcuni soggetti particolarmente infestati da questa mescolanza di teoria nelle memorie di fatti osservati. L'antica chimica era così travagliata da questo mal vezzo, da confondere e rendere pienamente inutili le descrizioni di innumerevoli curiosi e laboriosi sperimenti. E nella geologia, sino a questi ultimi tempi, era sovente difficilissimo, per questo motivo, di conoscere quali *fossero* i fatti osservati. Così Faujas di S.t Fond, nella sua opera dei volcani della Francia centrale, descrive con tutta l'apparenza di una minuta precisione crateri che non esistono se non nella sua imaginazione. Dalla diretta falsificazione di un fatto in fuori, maggior errore non si può commettere da un osservatore.

126. Allorchè particolari divisioni della scienza hanno acquistato quel grado di consistenza e di generalità che ammette un'enunciazione astratta di leggi e di legittimi raziocini deduttivi, il principio della divisione del lavoro tende a separare la provincia dell'osservatore da quella del teorico. Non si può dar ragione della differenza delle menti o delle inclinazioni, che induce un individuo ad osservare con piacere lo sviluppo di fenomeni, ed un altro a specolare sulle loro cause; ma se non fosse per questa fortunata discrepanza, si

potrebbe dubitare se le scienze sublimi sarebbero mai giunte al loro presente grado di perfezione. Di mano in mano che le leggi acquistano generalità, l'influenza delle osservazioni individuali diminuisce, ed un sempre più alto grado di raffinamento nel farle, come pure una gran moltiplicazione del loro numero, divengono necessari per dar loro qualche importanza. Nell'astronomia, per esempio, le parti superiori della teoria sono compiutamente divise dalla pratica delle osservazioni.

127. A fare un osservatore perfetto, tanto nell'astronomia, quanto in ogni altra parte della scienza, si richiede tuttavia una estesa conoscenza non solamente della scienza particolare cui le sue osservazioni si riferiscono, ma ancora di ogni genere di sapere che lo può render atto ad apprezzare ed a neutralizzare gli effetti delle cause estranee perturbatrici. Ricco di queste cognizioni, egli sarà preparato a non lasciar sfuggire alcuna di quelle minute indicazioni, le quali (tale è la sottigliezza della natura) spesso connettono fenomeni che sembrano affatto remoti l'uno dall'altro. Egli avrà gli occhi, per così dire, aperti per essere colpito a un tratto da qualunque occorrenza, che, secondo le teorie ricevute, non dovrebbe accadere; poichè questi sono i fatti che servono di filo per guidare a nuove scoperte. La deviazione di un ago magnetico, per l'influenza di un filo metallico elettrizzato, debbe essere accaduta migliaia di volte in un modo percettibile, sotto gli occhi di persone occupate in isperimenti galvanici, con apparecchi filosofici di ogni specie disposti intorno a loro; ma si richiedeva l'occhio

di un filosofo quale era Oërsted per notare quest' indicazione, riferirla alla sua origine e connettere con ciò due gran parti di scienza. La grande scoperta di Malus della polarizzazione della luce per riflessione ebbe origine nell' osservazione accidentale ch' egli fece una sera dello sparire di una delle imagini di una finestra del palazzo di Luxembourg, fortemente illuminata dal sole al suo tramonto, vista a traverso un prisma doppiamente rifrangente.

128. Il valerci per quanto è possibile dei vantaggi che arreca una divisione di lavoro per la collezione di fatti, per mezzo dell' industria e dell' attività che la diffusione generale delle cognizioni, nel nostro secolo, mette in esercizio, è un oggetto di grande importanza. Appena v' ha una persona istrutta, la quale, purchè ne abbia la volontà, non abbia eziandio il potere di aggiungere qualche cosa di essenziale alla massa generale del sapere, sol che osservi regolarmente e metodicamente qualche classe particolare di fatti che più ecciti la sua attenzione, o che la sua condizione gli permetta di studiare con effetto. Addurremo per esempio uno o due soggetti che possono soltanto essere efficacemente migliorati dalle osservazioni riunite di moltissimi individui qua e là dispersi: — la meteorologia, una delle parti più complicate e più importanti insieme della scienza, è pur una di quelle in cui una persona che voglia attendere a regole semplicissime, e darvi il necessario grado di attenzione, può prestare un' opera vantaggiosa. Quali benefizi non ha raccolti la geologia dall' attività di persone industriose, che ponendo da un lato le teorie, si limita-

rono all'utile e piacevolissima occupazione di raccoglier saggi nelle contrade da essi visitate? Insomma non v'è parte alcuna di scienza nella quale, se utili ed assennate questioni fossero distintamente proposte, una massa immensa di preziose cognizioni non potesse esser raccolta da coloro che, nelle varie occupazioni della vita, in casa o fuori, stazionari o viaggiando, si varrebbero con piacere dell'opportunità di esser utili. Nulla tenderebbe meglio ad ottenere questo scopo quanto il far circolare tavole stampate su vari soggetti intese in maniera, 1° da proporre domande distinte e pertinenti, che ammettano brevi e definite risposte: 2° da richiedere un'esatta dichiarazione numerica su tutti i punti principali: 3° da indicare le circostanze concomitanti di qualche probabile influenza, che dovrebbero essere osservate: 4° finalmente da essere trasmesse ad un centro comune.

CAPITOLO V

Della classificazione di oggetti naturali e di fenomeni, e della nomenclatura.

129. Il numero e la varietà di oggetti e di relazioni che l'osservazione della natura ci mette dinanzi sono così grandi da divagare la mente, ove non sia assistita e fatta metodica da una divisione così giudiziosa in classi, che limiti la nostra attenzione a poche cose per

volta, od a riunioni collegate insieme da somiglianze generali, cosicchè, per l'immediato oggetto per cui le consideriamo, possano essere riguardate come individui. Prima che possiamo abbracciare con uno sguardo la natura in un modo che meriti di essere chiamato generale e sistematico, è necessario che possediamo un'enumerazione, se non compiuta, almeno considerevolmente estesa, dei suoi materiali e delle sue combinazioni; e che quelli che hanno qualche grado d'importanza siano distinti con nomi i quali non solamente aiutino a fissarli nella memoria, ma diventino, per così dire, altrettanti centri attorno ai quali le cognizioni si raccolgano a masse. L'imporre un nome ad un soggetto di contemplazione, sia un oggetto materiale, sia un fenomeno della natura, o una riunione di fatti e di relazioni, riguardati sotto un aspetto particolare, è un'epoca di grand'importanza nella sua storia. Esso fa non solamente che possiamo senza giro di parole indicarlo conversando o scrivendo, ma ciò che è di maggior rilevanza, gli dà un'esistenza riconosciuta nella nostra mente come soggetto di separata e peculiare considerazione: lo pone in lista per essere esaminato; e ne forma un capo o un titolo sotto il quale si possono disporre cognizioni di varia natura; e per conseguenza lo rende atto a far l'officio di anello fra tutti i soggetti ai quali queste cognizioni si riferiranno.

130. A questo fine tuttavia un nome temporario o provvisionale, od uno adattato alla comune intelligenza nel parlare, può essere sufficiente. Ma quando una vasta moltitudine di oggetti vengono ad essere

riferiti ad una classe, specialmente di quelli che non offrono distinzioni troppo ovvie o notevoli, si richiede una nomenclatura più sistematica e regolare in cui i nomi richiamino alla mente le differenze come le somiglianze fra gl'individui di una classe, e in cui la relazione diretta fra il nome e l'oggetto aiuti materialmente a risolvere il problema « *dato l'uno determinar l'altro* ». Quanto questo possa divenir necessario, si vedrà a un tratto se ci faremo a considerare l'immenso numero di oggetti individuali, o piuttosto di specie che quasi ogni parte di scienza di qualche estensione presenta, le quali richieggono assolutamente di essere distinte con nomi. Così il botanico conosce da 80,000 a 100,000 specie di piante; l'entomologo forse altrettanti insetti; il chimico debbe registrare la proprietà di combinazioni, a due, a tre, a quattro ed oltre, in varie dosi, di più di cinquanta diversi elementi tutti distinti l'uno dall'altro da differenze essenziali; combinazioni di cui, ancorchè se ne conoscano moltissime migliaia, la massima parte non sono ancora seguite, sebbene centinaia di nuove vengano con perpetua successione in luce, secondo che la scienza si va dilatando; e tutte debbono ricevere un nome al momento che nascono. Gli oggetti dell'astronomia sono, letteralmente, numerosi quanto le stelle del cielo, e quantunque non più di un migliaio o due richieggano di essere espressi con nomi distinti, tuttavia il numero intorno al quale si vogliono avere nozioni particolari non è minore di cento volte quella somma, e tutti questi debbono essere registrati (in modo che vi si possa aver ricorso e che

niuno sia dimenticato), se non con nomi distinti, almeno con qualche mezzo equivalente.

131. La nomenclatura adunque è per se stessa indubitatamente una parte importante della scienza, siccome quella che c'impedisce di essere smarriti in una immensità di particolari, ed involti in una confusione inestricabile. Fortunatamente in quelle gran divisioni della scienza in cui gli oggetti da classificarsi sono numerosissimi, e la necessità di una nomenclatura chiara e conveniente è urgentissima, non si prova alcuna gran difficoltà nel fissarla. La stessa moltitudine degli oggetti somministra il mezzo di riunirli in classi subordinate sufficientemente ben definite per ricever nomi; queste classi possono essere suddivise in altre, i cui nomi o si aggiungono ai primi, o si compongono con essi, finchè finalmente la specie particolare è precisamente indicata. La facilità con la quale il botanico, l'entomologo o il chimico indica con un nome ogni oggetto individuale della sua scienza, mostra che cosa si possa ottenere con questo metodo quando i caratteri sono distinti. Tuttavia in altre parti della scienza si prova una considerevole difficoltà. Questo nasce principalmente dove le specie da distinguersi sono separate l'una dall'altra in gran parte da una differenza di grado di certe qualità comuni a tutte, e dove i gradi si confondono insensibilmente l'uno nell'altro. Forse questi soggetti non possono considerarsi come pienamente maturi per una nomenclatura sistematica; e il tentativo di stabilirla dovrebbe essere parziale, abbracciando solamente quei gruppi e quelle riunioni d'individui che concordano in caratteri

evidentemente naturali e generici, e lasciando il rimanente sotto denominazioni triviali o provvisionali finchè siano meglio conosciuti ed atti ad essere scientificamente disposti.

132. La nomenclatura, a dir vero, in un punto di vista sistematico è forse più una conseguenza che una causa dell' estensione del sapere. Chiunque può dare un nome arbitrario ad una cosa, meramente per poterne parlare: ma per dare un nome che a un tratto la collochi a suo luogo in un sistema, ne dobbiamo conoscere le proprietà; e si vuole *avere* un sistema, ampio abbastanza ed abbastanza regolare per riceverla nel luogo che appartiene a lei e a nessun' altra. Egli è adunque da dubitarsi se, pei fini essenziali della scienza, sia desiderabile d' insistere sopra un raffinamento estremo nella nomenclatura sistematica. Se la scienza fosse perfetta, si potrebbero fissare sistemi di classificazione, i quali assegnassero ad ogni oggetto esistente nella natura, un posto in qualche classe cui appartenesse più evidentemente che ad un' altra, e sotto la quale acquistasse un nome mai più soggetto a cambiamento. Ma fintanto che questo non si avvera, e finchè nuove relazioni sono giornalmente scoperte, dobbiamo andar guardinghi nello insistere sullo stabilimento e sull' estensione di classi che hanno in sè alcuna cosa di artifiziale per farle basi di una rigorosa nomenclatura; e specialmente dobbiamo guardarci dal cader nell' errore di prendere i mezzi pel fine, e di sagrificare la convenienza e la chiarezza ad una mania di classificazione. Ogni nomenclatura dipendente da classificazioni artifiziali è necessariamente soggetta

a variazioni: e non è facile il compensare il male che si fa col turbare nomi ben radicati, una volta che sono divenuti generalmente familiari. In natura un medesimo oggetto fa parte di un infinito numero di diversi sistemi, — un individuo di un infinito numero di gruppi, alcuni di maggiore altri di minore importanza, secondo i diversi aspetti sotto i quali possono essere considerati. Quindi si possono imaginare altrettanti diversi sistemi di nomenclatura, quanti sono i diversi capi di classificazione che verranno ad essere scoperti, mentre tuttavia è grandemente da desiderarsi che ciascun oggetto sia universalmente indicato sotto un sol nome, *se sarà possibile*. Conseguentemente in tutti i soggetti nei quali certi capi comprensivi di classificazione non si presentano in modo prominente, ogni nomenclatura diviene una scelta in mezzo a difficoltà, ed un bel nome breve e *senza significato* che si sia una volta introdotto nell'uso, è da preferirsi quasi ad ogni altro.

133. Non vi è scienza in cui i mali provenienti dalla smania per la nomenclatura siano stati sentiti quanto nella mineralogia. Il numero de' minerali semplici, oggidì riconosciuti dai mineralogisti, non eccede poche centinaia, tuttavia ve n'ha appena uno che non abbia quattro o cinque nomi in diversi libri. La conseguenza ne è molestissima. A nessun nome si concede di durare abbastanza perchè ponga radice; ed ogni novello scrittore su questa bella scienza comincia senz'altro dal far *tabula rasa* di tutte le nomenclature anteriori e dal proporne un'altra in loro vece. Questo stato di cose pieno d'inconvenienti e di confusione è

giunto finalmente al suo più alto grado per la pubblicazione di un sistema di straordinario merito per altri riguardi, e perciò della massima autorità, in cui certi nomi che erano divenuti di uso universale, si erano mantenuti in mezzo alla general confusione, ed erano persino stati ammessi nella lingua comune, come dinotanti *specie* troppo definite per dar luogo ad errore, sono cambiati in *generici* ed estesi a gruppi intieri, comprendenti oggetti i quali in nulla concordano se non nei capi arbitrari di una classificazione da cui le più importanti relazioni naturali son scientemente ed espressamente rigettate (1).

134. Le classificazioni per cui la scienza progredisce, sono tuttavia assai diverse da quelle che servono di base a sistemi artifiziali di nomenclatura. Esse si attraversano, s'intersecano, per così dire, l'una l'altra in ogni possibil modo, ed hanno per iscopo d'intrecciare tutti gli oggetti della natura in una stretta e compatta rete di relazioni e di dipendenza mutua. Adunque, tostochè una rassomiglianza o un'analogia, un punto qualunque in cui concordino, viene ad esser scoperto fra due o più cose, — siano esse qualsivogliano, — oggetti, fenomeni, o leggi, — immediatamente ed *ipso facto* si costituiscono in un gruppo o classe, che può aggrandirsi senza limite coll'aggiungersi di quei nuovi oggetti, fenomeni o leggi, concordanti nello stesso punto, che verranno poscia ad es-

(1) Nel sistema cui si allude il nome di quarzo è dato al iolite ed alla pietra ossidiana; quello di mica alla piombaggine, al clorite ed all'uranite; di zolfo all'orpimento, al risigallo ecc. V. Mohs, Sistema di mineralogia, tradotto in inglese da Haidinger.

sere scoperti. Egli è in questo modo che i materiali del mondo si radunano in varie famiglie, quali son quelle di cui la chimica somministra esempi nelle sue varie famiglie, di acidi, di alcali, solfuri, ecc.; o la botanica nelle sue euforbiacee, ombellifere, ecc. Egli è pure così che i fenomeni prendono il loro posto sotto punti generali di somiglianza; come nell' ottica quelli che si riferiscono alla classe de' colori periodici, della doppia rifrazione, ecc.; ed è così che le somiglianze stesse vengono avvertite, che spetta poi all' induzione di generalizzare e d' inchiudere in proposizioni astratte.

135. Ma ogni classe formata su di una positiva somiglianza di caratteri, oppure su di un' analogia distinta, trae seco la considerazione di una classe negativa, nella quale cotesta somiglianza o non sussiste affatto o vi si vede l' opposto; come pure vi sono classi nelle quali una data qualità è posseduta dai differenti individui in una gradazione discendente d' intensità. Ora egli è importante il distinguere fra casi in cui vi è una vera opposizione di qualità, ovvero una semplice diminuzione d' intensità, in qualche qualità capace di gradazioni, finchè diviene impercettibile. Per esempio, fra la trasparenza e l' opacità parrebbe a primo aspetto che esistesse un' opposizione diretta; ma esaminando la cosa più da vicino, se consideriamo le gradazioni per cui la trasparenza diminuisce nelle sostanze naturali, verremo ad ammettere, che la seconda qualità, invece di essere l' opposto della prima, ne è solamente *l' estremo e più basso grado.* Parimente nel disporre gli oggetti naturali sotto il rapporto del

peso o della specifica gravità, la gradazione si estende per tutta la natura, e non si conosce alcun corpo naturale in cui si trovi il contrario della gravità ossia una positiva *leggerezza*. Da un'altra parte, le elettricità opposte: le polarità magnetiche nord e sud: le qualità alcaline ed acide degli agenti chimici: le rotazioni positive e negative impresse da lamine di cristallo di rocca ai piani di polarizzazione dei raggi di luce, e molti altri casi, sono esempi non solo di una negazione ma di un'opposizione attiva di qualità. Entrambi questi modi di classificazione hanno la loro peculiare importanza nel metodo induttivo; nel porgere che fanno di un'opportunità di rintracciare una relazione tra fenomeni; l'uno coll'osservazione di una corrispondenza nelle loro gradazioni d'intensità; l'altro con quella del contrasto, come dimostreremo maggiormente nella prossima sezione.

136. È pure da farsi un'ampia distinzione fra quelle classi che si raggirano sopra un sol punto di somiglianza fra individui per altra parte assai differenti, e quelle che collegano insieme in gruppi naturali, per molte diverse analogie, oggetti che tuttavia differiscono in molti notevoli particolari. Per esempio: se poniamo come capo di classificazione la trasparenza senza colore, la lista di questa classe comprenderà oggetti affatto diversi nella loro natura, come l'acqua, l'aria, il diamante, lo spirito di vino, il vetro, ecc. Per altra parte le facoltà chimiche degli alcali, dei metalli ecc. sono esempi di gruppi dell'altro genere; che avendo proprietà in molti riguardi diverse, tuttavia concordano in una somiglianza generale di pa-

recchie altre, cosa che ce li fa tosto riguardare come aventi una relazione naturale. Nei primi casi la nostra sagacità è eccitata a determinare quale possa essere la causa della loro somiglianza, negli ultimi si vuol riconoscere la loro differenza; quelli appartengono alla provincia della generalizzazione induttiva e somministrano i casi più istruttivi per l' investigazione delle cause; gli altri appartengono ai più segreti penetrali della natura; l'esistenza medesima di queste famiglie essendo per sè uno dei grandi e complicati fenomeni dell'universo, che non possiamo sperar d'indovinare senza un'intima ed estesa conoscenza delle sue più alte leggi (1).

(1) Il passo seguente della *synopsis* della Flora Britannica di Lindley caratterizza giustamente i meriti rispettivi, sotto un aspetto filosofico, dei sistemi naturali ed artifiziali di classificazione in generale, sebbene limitato nella sua espressione alla sua scienza immediata: — « A malgrado di tutto ciò che si è fatto e che si farà in avvenire, vi sarà sempre maggior difficoltà nell' acquistar cognizione del sistema *naturale* della botanica che nel rendersi familiare quello di *Linneo*. Questo passa soltanto leggermente sulla superficie delle cose, o lascia lo studente nel sognato possesso di una specie d' istruzione che si può facilmente ottenere, ma che è di poco pregio quando è ottenuta: il sistema naturale richiede una minuta investigazione di ogni parte e di ogni proprietà che si sanno esistere nelle piante; ma quando è inteso, egli ha comunicato alla mente una gran quantità di vere cognizioni, utilissime all' uomo in ogni condizione della vita. Qualunque sia la difficoltà di conoscere le piante secondo questo metodo, essa è inseparabile dalla botanica che non si può utilmente studiare senza vincerla ». Schiller ha alcuni bei versi su questo soggetto, intitolati: « Menschlicher Wissen » (sapere umano). Gedichte vol. 1, p. 72. Leipzig, 1800.

CAPITOLO VI

Del primo grado d'induzione, — La scoperta di cause prossime e di leggi dell' infimo grado di generalità, e la loro verificazione.

137. La prima cosa che una mente filosofica considera quando un nuovo fenomeno si presenta, è la sua *spiegazione* o il modo di riferirlo ad un' immediata causa producente. Se questa non si può accertare, la seconda è di *generalizzare* il fenomeno e d' inchiuderlo, con altri analoghi, nell' espressione di qualche legge, con la speranza che la sua considerazione, quando la scienza abbia maggiormente progredito, possa condurre alla scoperta di una causa prossima adeguata.

138. L' esperienza avendoci mostrato il modo in cui un fenomeno dipende dall' altro in un gran numero di casi, nell' ampliarsi della scienza ci troviamo provveduti di un capitale sempre crescente di tali fenomeni antecedenti o cause (limitandoci pel presente alle sole cause prossime) sufficienti, sotto varie modificazioni, per la produzione di una gran moltitudine di effetti, oltre a quelli che originariamente ce le fecero conoscere. A queste Newton ha dato il nome di *verae causae;* vale a dire, cause riconosciute come aventi una vera esistenza in natura, e non mere ipotesi o creazioni della mente. Per dare un esempio di questa distinzione: — il fenomeno delle conchiglie

trovate in rocce ad una grand' altezza al di sopra del mare, è stato attribuito a parecchie cause. Da alcuni è stato ascritto ad una virtù plastica del terreno; da altri alla fermentazione: altri l'attribuiscono all'influenza dei corpi celesti; altri al passaggio accidentale di pellegrini coi loro sarrocchini coperti di nicchi; taluni ad uccelli che si pascono di testacei; e tutti i moderni geologi d'accordo, alla vita e alla morte di veri mollusci nel fondo del mare, e ad una susseguente alterazione del relativo livello del mare e della terra. Di queste cause, la virtù plastica e l'influenza celeste appartengono alla classe delle creazioni della fantasia. Il trasporto accidentale fatto da pellegrini è una causa reale e potrebbe dar ragione di pochi nicchi qua e là sparsi in passi frequentati, ma non è generale abbastanza perchè serva di spiegazione. La fermentazione è generalmente una causa reale, in quanto una tal cosa esiste; ma non è causa reale della produzione di una conchiglia in una roccia, poichè non si è mai veduto che questo fosse uno de' suoi effetti, e le rocce e i sassi non fermentano. Al contrario che un testaceo muoia al fondo del mare e lasci il suo nicchio nella melma, dove s'incrosta e s'interra, è cosa che accade tutti i giorni; e l'elevazione del letto del mare al punto di divenir terreno asciutto è stata osservata tante volte, ed in tal estensione, da far che questa sia tenuta per *vera causa* da valersene in sana filosofia.

139. Ecco un altro esempio parimente tratto dalla stessa scienza meritamente popolare: — il fatto di un gran cambiamento nel clima generale di vasti tratti

del globo, se non della terra intera, e di una diminuzione di generale temperatura, essendo stato riconosciuto dai geologi, in conseguenza dei loro esami delle reliquie di animali e di vegetali di antiche età inchiuse negli strati, varie cause sono state addotte per questa variazione. Alcuni considerano il globo intero come passato da un' assoluta fusione ad un raffreddamento graduale: altri tengono che ne sia causa l' attività immensamente superiore degli antichi volcani, e per conseguenza la comunicazione più copiosa nei tempi passati del calore interno alla superficie. Nè l' una nè l' altra di queste può essere riguardata come vera causa nel senso che qui s' intende: imperciocchè non *sappiamo* che il globo si sia raffreddato da uno stato di fusione, nè siamo sicuri che questa supposta maggior attività degli antichi volcani in paragone dei presenti abbia mai realmente esistito. Una causa che possiede i requisiti essenziali di una *vera causa* è stata tuttavia addotta (1) nella variante influenza della di-

(1) Lyell, principii di geologia, vol. I. — Fourrier, *Mémoires de l'académie des sciences*, tom. VII, p. 592 « l'établissement et le progrès des sociétés humaines, l'action des forces naturelles, peuvent changer notablement, et dans de vastes contrées, l'état de la surface du sol, la distribution des eaux, et les grands mouvemens de l'air. De tels effets sont propres à faire varier dans le cours de plusieurs siècles le dégré de la chaleur moyenne: car les expressions analytiques comprennent des coéfficiens qui se rapportent à l'état superficiel, et qui influent beaucoup sur la valeur de la température. » In questa enumerazione del signor Fourrier delle cause che possono alterare la relazione generale della superficie di vasti continenti al calore, si vuol render giustizia al sig. Lyell, osservando che la mutazione graduale dei *luoghi* dei continenti

stribuzione della terra e del mare sulla superficie del globo: un cambiamento di questa distribuzione, nello scorrere dei tempi, pel deterioramento degli antichi continenti e la formazione di nuovi, essendo un fatto dimostrato: e l'influenza di un tal cambiamento sui climi di regioni particolari, se non del globo intero, essendo una conclusione perfettamente plausibile, per quello che conosciamo di climi continentali, isolani ed oceanici, per mezzo di osservazioni locali. Qui dunque abbiamo almeno una causa sulla quale un filosofo può consentire di ragionare; quantunque la questione, se i cambiamenti che si vanno operando siano tali da autorizzare la conclusione in tutta la sua estensione, o se si operino pure nella giusta direzione, debb' essere riguardata come indecisa finchè il soggetto non sia stato più profondamente esaminato.

140. A questa se ne può aggiungere un' altra che ha pure i caratteri essenziali di una *vera causa*, nel *fatto* astronomico dell' attuale lenta diminuzione dell' eccentricità dell'orbita della terra intorno al sole: fatto che influendo, siccome generale, sulla *temperatura media del globo intero*, ed essendo tale da produrre un effetto inevitabile del pari e sino a un certo grado di una possibile esatta estimazione, merita di essere considerato. Egli è evidente che la temperatura

stessi sulla superficie del globo, pel consumo cagionato dal mare da una parte, e per l'azione sollevatrice di forze sotterranee dall'altra non occorre espressamente e non può giustamente essere inchiusa nel senso generale di questo passo, che si limita alla considerazione di quei cambiamenti che possono accadere sulla superficie esistente della terra.

media di tutta la superficie del globo, in quanto è mantenuta dall'azione del sole in un più alto grado che non avrebbe se il sole fosse estinto, debbe dipendere dalla quantità media dei raggi solari che riceve, ovvero, ciò che monta allo stesso, dalla quantità *totale* ricevuta in un dato tempo invariabile; e la lunghezza dell'anno essendo invariabile in tutti gli ondeggiamenti del sistema planetario, ne seguita che l'ammontare totale *annuo* della radiazione solare determinerà, *coeteris paribus*, il clima generale della terra. Ora, non è difficile il dimostrare che questo ammontare è inversamente proporzionale all'asse minore dell'ellisse descritta dalla terra intorno al sole, riguardata come lentamente variabile; e che per conseguenza l'asse maggiore rimanendo, come sappiamo, costante, e l'orbita essendo attualmente in istato di avvicinamento al circolo, e quindi l'asse minore essendo in progresso di *accrescimento*, il medio ammontare annuo della radiazione solare ricevuta da tutta la terra debbe attualmente volgere al *decremento*. Abbiamo qui pertanto una causa reale evidente di sufficiente universalità, ed operante nella *giusta direzione*, che dà ragione del fenomeno. La sua sufficienza è una considerazione diversa (1).

141. Ogni qual volta adunque è da spiegarsi un fenomeno, noi cerchiamo naturalmente prima di tutto di riferirlo all'una o all'altra di quelle cause reali che l'esperienza ci ha insegnato esistere, ed essere capaci

(1) Questo soggetto è maggiormente sviluppato in uno scritto presentato non è molto tempo alla Società Geologica di Londra.

di produrre fenomeni simili. In questo tentativo la probabilità di riuscita dipenderà necessariamente in gran parte, 1° dal numero e dalla varietà delle cause che la sperienza ha messe a nostra disposizione; 2° dall'abito in cui saremo di applicarle alla spiegazione dei fenomeni naturali; e 3° dal numero de' fenomeni analoghi che potremo raccogliere, i quali o siano stati spiegati o ammettano spiegazione per via dell'una o dell'altra di queste cause, e della strettezza della loro analogia con quello di cui si tratta.

142. Qui vediamo la grand' importanza di possedere un capitale di casi o di fenomeni analoghi che entrino nella stessa classe di quello che si sta considerando, poichè la spiegazione di uno di essi potrà naturalmente guidare a quella di tutti i rimanenti. Se l'analogia di due fenomeni è assai stretta e visibile, mentre nello stesso tempo la causa di uno è al tutto ovvia, egli diverrà quasi impossibile il ricusare d'ammettere nell'altro l'azione di una causa analoga, quantunque non sia per se stessa così ovvia. Per esempio, quando vediamo un sasso rotato in una fionda, descrivere un'orbita circolare intorno alla mano, tenere la corda tesa, e volar via al momento che questa è rilassata, non esitiamo punto a riguardarlo come trattenuto nella sua orbita dalla tensione della corda, cioè, da una forza diretta al centro; poichè sentiamo che per noi si esercita veramente una tal forza. Qui abbiamo una *percezione diretta* della causa. Quando, adunque, vediamo un gran corpo come la luna circolare intorno alla terra e non scagliarsi via; non possiamo far a meno di credere ch' essa n'è impedita, non per verità

da un vincolo materiale, ma da quello che opera nell'altro caso per l'intermezzo della corda, — una *forza* costantemente diretta al centro. In questo modo andiamo continuamente acquistando una conoscenza dell'esistenza di cause operanti così di nascosto da impedire efficacemente la loro diretta scoperta.

143. In generale dobbiamo osservare che il movimento, ovunque sia prodotto o cangiato, invariabilmente indica l'esistenza della *forza* come sua causa; epperò le forze della natura si fanno conoscere e sono misurate dai movimenti che producono. Così la *forza* del magnetismo si conosce con egual certezza tanto dalla deviazione prodotta dal ferro nell'ago calamitato, o dal saltar su di un ago verso la magnete tenutavi sopra, quanto da quell'adesione che richiede una forza per rompere la connessione, quando l'ago e la magnete sono in contatto ed in riposo; e così le correnti prodotte nella superficie di una quantità di mercurio, elettrizzato sotto un fluido conduttore, hanno indicato l'esistenza e la direzione di forze di un'intensità enorme, sviluppate dal circolo elettrico, di cui non avremmo avuto altrimenti il menomo sospetto (1).

144. Ma quando la causa di un fenomeno non si presenta in un modo ovvio nel considerare il fenomeno stesso, nè ci è in certa maniera suggerita da un caso di forte analogia, come quelle sopra descritte, non ci rimane altra speranza se non nel deliberato adunamento di tutti i casi paralelli che possiamo riu-

(1) Trans. filos. 1824.

nire; cioè nella formazione di una classe di fatti, aventi il fenomeno di cui si tratta per capo di classificazione; e nel cercare fra gl' individui di questa classe qualche altro punto comune di accordo, fra i quali la causa verrà di necessità a trovarsi. Ma se apparisse più di una causa, dobbiamo allora procurar di trovare, se sarà possibile, o di *produrre nuovi fatti* in cui ciascuna delle cause verrà successivamente a mancare, mentre tuttavia concorderanno nel punto generale di questione. Qui troviamo l'uso di ciò che Bacone chiama « *casi di croce* » (1), cioè fenomeni messi in campo per decidere fra due cause, ciascuna delle quali ha le medesime analogie in suo favore. E qui pure vediamo l'utilità dello *sperimento* in confronto della semplice osservazione passiva. Noi facciamo uno sperimento del genere detto *di croce* quando formiamo combinazioni, e mettiamo cause in azione, dalle quali alcuna particolare è deliberatamente esclusa, ammettendovi espressamente alcun'altra; e dal concordare o discordare del fenomeno risultante con quelli della classe che si esamina, facciamo dipendere il nostro giudizio.

145. Quando vogliamo stabilire regole generali per guidare e agevolare le nostre ricerche di una causa comune ad una gran massa di fatti radunati, dobbiamo aver riguardo ai caratteri di quella relazione che intendiamo per causa ed effetto. Questi sono: —

1° Connessione invariabile ed, in particolare, antecedenza invariabile della causa e conseguenza

(1) Vedi più sotto la nota al § 191.

dell'effetto, salvo il caso d'impedimento opposto da una causa contrastante. Ma è da osservarsi che in un gran numero di fenomeni naturali l'effetto è prodotto gradatamente, mentre la causa spesse volte va crescendo in intensità; di modo che l'antecedenza dell'una e la conseguenza dell'altra sono difficili a scoprirsi quantunque realmente esistano. Per altra parte l'effetto sovente seguita la causa così istantaneamente, che l'intervallo non può essere avvertito. In conseguenza di ciò, egli è alcune volte difficile il decidere, di due fenomeni che costantemente vanno insieme, quale sia la causa e quale l'effetto.

2° Negazione invariabile dell'effetto quando è assente la causa, salvochè qualche altra causa sia capace di produrre lo stesso effetto.

3° Accrescimento o diminuzione dell'effetto, coll'accresciuta o diminuita intensità della causa, nei casi che ammettono aumento o diminuzione.

4° Proporzionalità dell'effetto alla sua causa in tutti i casi di azione *diretta non impedita.*

5° Sottentramento dell'effetto in luogo della causa.

146. Da questi caratteri siamo condotti alle seguenti osservazioni che possono essere considerate come altrettante proposizioni prontamente applicabili a casi particolari, o come regole del filosofare: noi concludiamo, 1° Che se nella nostra riunione di fatti ve n'è uno in cui una determinata peculiarità o circostanza concomitante, è assente od opposta, questa peculiarità non può essere la causa che cerchiamo.

147. 2° Che una circostanza in cui tutti i fatti sen-

za eccezione concordano, *può* essere la causa cercata, o se non è tale, almeno sarà un effetto collaterale della stessa causa: se vi fosse soltanto un punto d'accordo, questa possibilità diviene certezza; e da un'altra parte se ve ne sarà più d'uno, vi possono essere cause concorrenti.

148. 3° Che non dobbiamo negare l'esistenza di una causa in favor della quale abbiamo un accordo unanime di forti analogie, quantunque non sia apparente come una tal causa possa produrre l'effetto, od anche quantunque sia difficile di concepire la sua esistenza nelle circostanze del caso; in tali emergenze è piuttosto da ricorrere all'esperienza quando è possibile, che da decidere *a priori* contro la causa, e si vuol tentare se non possa essere renduta apparente.

149. Per esempio: vedendo il sole vivamente luminoso, ogni analogia ci conduce a conchiudere che è intensamente caldo. Come il calore produca la luce, nol sappiamo; e come un tal calore si possa mantenere non lo possiamo concepire. Tuttavia non siamo per questo in dritto di negare la conseguenza.

150. 4° Che i fatti contrari sono quanto i favorevoli egualmente istruttivi per la scoperta delle cause.

151. Per esempio: quando l'aria è rinchiusa con limatura di ferro bagnata, in un vaso ben turato, il suo volume è diminuito per cagione di una certa sua porzione che viene sottratta e si combina col ferro a produrre la *ruggine*. E se il rimanente sarà esaminato, si troverà che *non* sosterrà più nè fiamma nè vita animale. Questo fatto contrario dimostra che la causa dell'alimento della fiamma e della vita animale deb-

b'essere cercata in quella parte dell'aria che il ferro sottrae e che lo irrugginisce.

152. 5° Che le cause divengono frequentemente ovvie, pel semplice ordinamento dei fatti secondo il grado d'intensità in cui qualche qualità peculiare esiste; quantunque non di necessità, perchè altre cause opponenti o modificanti possono agire nel medesimo tempo.

153. Per esempio: il suono consiste in impulsi comunicati dall'aria al nostro orecchio. Se una serie d'impulsi di forza eguale seguono ad intervalli eguali di tempo, in prima con lenta successione, e poi per gradi più e più rapidamente, noi udiamo in principio un rumore rimbombante, poscia un basso mormorio e quindi un ronzio, che gradatamente acquista il carattere di una nota musicale, sempre più crescente in acutezza finchè il suo tuono diviene troppo alto perchè l'orecchio lo possa seguitare. E da questa corrispondenza tra il tuono della nota e la rapidità di successione dell'impulso, noi concludiamo che la nostra sensazione dei diversi tuoni delle note musicali, ha la sua origine nelle diverse rapidità colle quali i loro impulsi sono comunicati al nostro orecchio.

154. 6° Che queste cause opponenti o modificanti possono esistere non conosciute, ed annientare gli effetti della causa che cerchiamo, in casi che, se non fosse per la loro azione, cadrebbero nella nostra classe di fatti favorevoli; e che perciò si possono sovente far scomparire eccezioni, col rimuovere o col tener conto di queste cause opponenti. Quest'osservazione diviene della maggior importanza, quando (come spesso ac-

cade) una sola eccezione di riguardo affronta, per così dire, una schiera di fatti altrimenti unanime in favore di una certa causa.

155. Così, nella chimica, la qualità *alcalina* delle basi alcaline e terree, consta essere dovuta alla presenza dell'ossigeno combinato coll'uno o coll'altro di una serie peculiare di metalli. L'ammoniaco è tuttavia una di quelle violente eccezioni che si presentano, come si è detto, essendo un composto di azoto e d'idrogeno: ma si hanno indicazioni quasi certe che quest' eccezione non è reale, ma assume quell'apparenza per via di qualche causa modificante non intesa.

156. 7° Se possiamo trovare prodotti dalla natura, o produrre di proposito noi stessi, due casi che s'accordino *esattamente* in tutto fuorchè in un particolare, e in quello differiscano, la sua influenza nel produrre il fenomeno, se pur ne ha una, *debbe* per ciò divenir sensibile. Se questo particolare sarà presente in un caso ed assente affatto nell'altro, la produzione o non produzione del fenomeno deciderà se sia o no la sola causa; più evidentemente ancora se sarà presente *in modi contrari* nei due casi, e l'effetto ne sarà per ciò rovesciato. Ma se la sua totale presenza od assenza produrrà soltanto un cambiamento nel *grado* o nell'intensità del fenomeno, non potremo allora far altro che conchiudere, ch'esso opera come causa o condizione concorrente con qualche altra da cercarsi altrove. Egli è comparativamente raro in natura il trovare casi affatto diversi in una circostanza e concordi in ogni altra; ma quando chiamiamo la sperienza in nostro aiuto, è facile il produrli; e questa è in fatto la

grand'applicazione *di sperimenti d' investigazione* nelle ricerche fisiche. Essi divengono più preziosi e i loro risultamenti più chiari, in proporzione che posseggono questa qualità (di concordare esattamente in tutte le loro circostanze tranne una sola), giacchè la domanda che si fa alla natura diviene così più precisa e la sua risposta più decisiva.

157. 8° Se non potremo ottenere una negativa od un'opposizione compiuta della circostanza di cui vogliamo verificare l'influenza, dovremo procurare di trovar casi nei quali varii considerevolmente di grado. Se *questo* non può eseguirsi, potremo forse indebolire od accrescere la sua influenza coll'introdurre qualche nuova circostanza, la quale, astrattamente considerata, parrà dover *probabilmente* produrre questo effetto, e così otterremo una testimonianza indiretta della sua influenza. Ma non sarà da dimenticarsi che la testimonianza così ottenuta *è* indiretta, e che la nuova circostanza introdotta *può* avere un' influenza diretta sua propria, o esercitarne una modificante su qualche *altra* circostanza.

158. 9° I fenomeni complicati, nei quali parecchie cause concorrenti, contrarie, o affatto indipendenti l'una dall' altra, operano ad un tempo in modo da produrre un effetto composto, possono essere semplificati sottraendo l'effetto di tutte le cause conosciute, per quanto la natura del caso il permette, sia con un raziocinio deduttivo o per via di ricorso all'esperienza, lasciando per così dire un *fenomeno residuo* (1) da

(1) Per non dover fare lunghe perifrasi, è stato qui e altrove

spiegare. Questo è il metodo, in fatto, per cui la scienza, nel suo presente stato d'avviamento, è particolarmente promossa. La maggior parte dei fenomeni che la natura presenta sono assai complicati; e quando gli effetti di tutte le cause conosciute sono stimati con esattezza e sottratti, i fatti che rimangono appaiono costantemente nella forma di fenomeni affatto nuovi e conducenti alle più importanti conclusioni.

159. Per esempio: il ritorno della cometa predetto dal professor Encke molte volte successivamente, e la generale concordanza del suo luogo calcolato con quello osservato durante i suoi periodi di visibilità, ci condurrebbero a dire che la sua gravitazione verso il sole e i pianeti è la sola e sufficiente causa di tutti i fenomeni del suo moto *orbitale;* ma quando l'effetto di questa causa è rigorosamente calcolato e sottratto dal moto osservato, si trova che un *fenomeno residuo* viene a sopravanzare, la cui esistenza non si sarebbe mai altrimenti verificata, ed è una picciola anticipazione del tempo delle sue riapparizioni o una diminuzione del suo tempo periodico che non può essere spiegata colla gravità e di cui si debbe perciò ricercare la causa. Quest'anticipazione potrebbe essere cagionata dalla resistenza di un *mezzo* disseminato nelle regioni celesti; e siccome vi sono pure altre buone ragioni per credere che questa sia una *vera causa*, essa è stata attribuita ad una tale resistenza.

necessario di tradurre letteralmente il *residual phenomenon* dell'inglese. Il lettore saprà apprezzare la difficoltà di tradurre certe espressioni filosofiche, e questa non sarà la sola volta che si avrà ad invocare la sua indulgenza. — *Nota del Traduttore.*

160. Questa 9ª osservazione è di tanta importanza nella scienza, che vogliamo arrecarne ancora uno o due esempi. Il signor Arago avendo sospeso un ago magnetico ad un filo serico e fattolo vibrare, osservò che tornava assai più presto in istato di riposo allorchè era sospeso sopra un piattello di rame che quando questo non gli stava sotto. Ora, nei due casi v'erano due *verae causae* per le quali dovesse tornare finalmente in riposo, cioè la resistenza dell'aria che si oppone e che alla fine arresta tutti i movimenti che vi si fanno; e la mancanza di una mobilità perfetta nel filo serico. Ma l'effetto di queste cause essendo perfettamente conosciuto per l'osservazione fatta nell'assenza del rame, ed essendo perciò calcolato e sottratto, un *fenomeno residuo* comparve, nel fatto che un'influenza ritardatrice era esercitata dal rame stesso, e questo fatto, una volta accertato, presto condusse alla conoscenza di una interamente nuova ed inaspettata classe di relazioni. Aggiungiamo un altro esempio. S'egli è vero (come il signor Fourrier pensa che sia dimostrato) che le regioni celesti abbiano una temperatura indipendente dal sole, non di molto inferiore a quella in cui il mercurio si congela, e molto superiore ad alcuni gradi di freddo che sono stati artifizialmente prodotti, due cause si presentano a spiegare la cosa; una è quella addotta dall'autore sopra citato, — la radiazione delle stelle; — un'altra può essere proposta nell'etere o *mezzo* elastico, mentovato nell'ultima sezione, che i fenomeni della luce e la resistenza delle comete ci fanno credere possa riempire tutto lo spazio, e che per analogia ad ogni *mezzo*

elastico conosciuto, può supporsi possedere una temperatura ed un calorico specifico suo proprio, che abbia potere di comunicarsi ai corpi che ne sono circondati. Che se consideriamo che il calorico radiato dal sole siegue la stessa proporzione della sua luce, e se pensiamo che sia ragionevole di ammettere per rispetto al calorico stellare ciò che è riconosciuto del solare; l'effetto della radiazione stellare, nel mantenere una temperatura nello spazio, sarà di altrettanto inferiore a quello della radiazione del sole, di quanto la luce di una mezzanotte senza luna è inferiore a quella di un mezzogiorno equatoriale; vale a dire quasi inconcepibilmente più piccolo. Concedendo adunque un pieno effetto per questa causa, vi rimarrebbe sempre un gran *residuo* dovuto alla presenza dell' etere.

161. Molti dei nuovi elementi della chimica sono stati scoperti nell'investigazione dei *fenomeni residui.* Così Arfwedson scoprì il *litio* avvedendosi di un *eccesso di peso* nel solfato prodotto da una picciola porzione di ciò che credeva magnesia, presente in un minerale che aveva analizzato. Egli è pure in virtù di questo principio che i *piccioli residui concentrati di grandi operazioni* nelle arti, sono quasi sicuramente i ripostigli di nuovi ingredienti chimici; ne siano testimoni il iodio, il bromio, il selenio e i nuovi metalli che accompagnano il platino negli sperimenti di Wollaston e di Tennant. Fu un pensiero felice di Glauber l'esaminare ciò che tutti gli altri gettavano via.

162. Finalmente, dobbiamo osservare, che lo scoprimento di una causa *possibile*, per via del paragone

di casi radunati, *debbe* condurre ad una di queste due cose, o 1° Alla scoperta di una causa reale, e del suo modo di agire, cosicchè somministri una compiuta spiegazione dei fatti; o 2° Allo stabilimento di una legge astratta della natura, indicante due fenomeni di una natura generale come invariabilmente connessi, ed affermante che dove è l'uno, l'altro vi si debbe sempre trovare. Questa connessione invariabile è per se stessa un fenomeno di un ordine più sublime che qualunque fatto particolare; e quando molti di questo genere sono scoperti, possiamo di bel nuovo procedere a classificarli, combinarli e sottoporli ad esame, col disegno di scoprire le *loro* cause, o leggi ancora più generali, e così all'infinito.

163. Illustriamo adesso questa ricerca induttiva di una causa con un esempio generale: suppongasi che la *rugiada* sia il fenomeno proposto di cui vogliamo conoscere la causa. In primo luogo dobbiamo separare la rugiada dalla pioggia e dall'umidità della nebbia, e limitare l'applicazione del termine a ciò che realmente s'intende, cioè alla spontanea apparizione di umidità sopra sostanze esposte a cielo scoperto quando nessuna pioggia o umidore visibile non cade. Qui abbiamo fenomeni analoghi nell'umidità che si sparge sopra un metallo freddo o una pietra quando vi respiriamo sopra; in quella che appare su di un bicchiere d'acqua di fresco tratta dal pozzo nella calda stagione; in quella che si scorge nella parte interna delle finestre quando una subita pioggia o grandine raffredda l'aria esterna; in quella che scorre giù per le pareti quando dopo un lungo gelo succede un

caldo ed umido didiacciamento: casi tutti che concordano in un punto (Regola 2, § 147), — la freddezza dell'oggetto irrorato in paragone dell'aria che lo circonda.

164. Ma nel caso della rugiada notturna, è questa una *causa reale?* — è egli un fatto che l'oggetto irrorato *è* più freddo dell'aria? No certamente, uno sarebbe a primo aspetto inclinato a rispondere; poichè qual cosa l'ha da render tale? Ma le analogie sono incalzanti e unanimi; epperò (secondo la Regola 3, § 148) non dobbiamo rispingere le loro indicazioni; e per altra parte lo sperimento è facile, bastando di porre un termometro in contatto con la sostanza inumidita, e sospenderne un altro ad una picciola distanza sopra di essa dove non arrivi la sua influenza. Lo sperimento è stato fatto; la domanda è stata proposta e la risposta è invariabilmente stata *affermativa.* Ogni qual volta un oggetto si copre di rugiada, *esso è* più freddo dell'aria. Qui si ha dunque una circostanza *invariabile concomitante:* ma questa freddezza sarà ella un effetto della rugiada o ne sarà la causa? che le rugiade sono accompagnate da una sensazione di freddo è un'osservazione comune; ma il pregiudizio volgare vorrebbe che il freddo fosse l'*effetto* piuttosto che la causa. S'ha dunque a raccogliere un maggior numero di fatti, o ciò che torna allo stesso, s'hanno a variare le circostanze; poichè ogni caso in cui le circostanze differiscono, è un nuovo fatto; e specialmente si vogliono notare i casi contrari o negativi (Regola 4, § 150), cioè quelli in cui non si produce rugiada.

165. Ora, nessuna rugiada è prodotta sulla superficie di *metalli lisci*, ma si forma assai copiosamente sul vetro, e gli uni e l'altro esposti colle loro facce liscie all'insù; ed in alcuni casi la parte di sotto di una lamina orizzontale di vetro è pure inumidita; circostanza questa che (per la Regola 1, § 146) esclude la *caduta* dell' umidore dal cielo in una forma invisibile, cosa che naturalmente si presenterebbe come causa. Nei casi di metallo e di vetro entrambi lisci, il contrasto mostra evidentemente che la sostanza ha molto che fare col fenomeno; epperò si varii la sostanza sola per quanto è possibile esponendo superficie levigate di diversi generi. Fatto questo, una gradazione d'intensità diviene ovvia (Regola 5, § 152). Quelle sostanze liscie sono più fortemente irrorate, le quali conducono peggio il calorico; invece che quelle le quali ne sono buone conduttrici, resistono più efficacemente alla rugiada. Qui incontriamo una *legge* del primo grado di generalità. Ma se esponiamo superficie scabre invece di liscie, troviamo qualche volta che questa legge è turbata (Regola 5, § 152). Così il ferro fatto scabro, e specialmente se è colorito od annerito superiormente, diviene umido più prontamente che non la carta inverniciata: dunque la qualità della *superficie* ha una grande influenza. Esponete pertanto la *stessa* sostanza in condizioni assai diverse quanto alla superficie (Regola 7, § 156), ed un'altra gradazione d' intensità diviene tosto apparente; quelle superficie che *perdono il loro calorico* più facilmente per radiazione, sono vedute contrarre in maggior copia la rugiada; e così abbiamo scoperto un' altra

legge della medesima generalità della prima per un confronto di due classi di fatti, una relativa alla rugiada, l'altra alla radiazione del calorico dalle superficie. Ma l'influenza riconosciuta della *sostanza* e della *superficie* ci mena a considerare quella della *tessitura:* ed anche qui lo sperimento ci presenta differenze notevoli ed una terza *gradazione d'intensità;* indicando le sostanze di una tessitura ferma e compatta, siccome le pietre, i metalli ecc., per non favorevoli; ma quelle di tessitura rada, quali sono il panno, la lana, il velluto, la pennamatta, il cotone ecc., come eminentemente atte a contrarre la rugiada: e queste sono precisamente le meglio adattate al vestire, o ad impedire il libero passaggio del calorico dalla pelle nell'aria, di modo che vanno soggette ad avere la superficie esterna assai fredda mentre rimangono calde internamente.

166. Finalmente fra gli esempi negativi (§ 150) si osserva che la rugiada non è mai depositata in gran copia nei luoghi molto riparati dal cielo aperto, e non si mostra affatto in una *notte nuvolosa;* ma se le nuvole si ritirano anche per pochi minuti, e lasciano un'apertura serena, una deposizione di rugiada immediatamente comincia e va ognora crescendo. In questo caso una causa è distintamente indicata dalla sua antecedenza all'effetto di cui si ragiona (§ 145). Una vista netta del cielo sereno è pertanto una condizione essenziale, ovvero, per dire lo stesso in altri termini, le nuvole o gli oggetti che circondano e coprono, agiscono come *cause opponenti.* E questo è tanto vero che la rugiada formatasi negl'intervalli sereni spesso vie-

ne a svaporare di nuovo quando il cielo si copre di folte nuvole (Regola 4, § 150).

167. Venendo adesso a radunare queste induzioni particolari per trarne una conclusione generale, noi consideriamo,—che tutte le conclusioni che abbiamo tratte si riferiscono a quel primo fatto generale — il raffreddarsi della superficie esposta del corpo irrorato, al di sotto della temperatura dell'aria. Quelle superficie che lasciano sfuggire esternamente il loro calorico con maggior facilità, e lo ricevono internamente con maggior lentezza, diverranno certamente le più fredde se vi sarà pel loro calorico un'opportunità di sfuggire, e non verrà loro restituito dal di fuori. Ma un cielo sereno offre questa opportunità. Ed è una legge assai nota a tutti coloro che sono versati nella natura del calorico, che questo esce a raggi da *tutti i corpi*, vale a dire per *radiazione*, ma che è loro costantemente restituito da una simile radiazione degli altri che li circondano. Le nuvole e gli oggetti circondanti operano dunque come cause opponenti col restituire tutto o in gran parte il calorico radiato via, il quale non può veramente fuggire senza essere reintegrato, se non per via d'aperture nello spazio infinito. Così finalmente giungiamo alla causa prossima generale della rugiada, posta nel raffreddarsi della superficie irrorata per mezzo della radiazione più presto di quello che il calorico le possa essere restituito dalla comunicazione con la terra o dalla controradiazione; dimodochè diviene più freddo che l'aria e perciò cagiona una condensazione del suo umidore.

168. Abbiamo espressamente scelto questa teoria

della rugiada, primamente svolta dal Dr. Wells, come uno dei più begli esempi d'investigazione sperimentale induttiva ristretta entro limiti moderati, che possiamo richiamare alla memoria. Non è possibile in così ristretto spazio di far piena giustizia all' autore; ma noi caldamente raccomandiamo la sua opera (1) (altrettanto breve quanto dilettevole) allo studioso della filosofia naturale, come un modello che farà bene di rendersi familiare.

169. Nell'analisi che abbiamo fatta, la formazione della rugiada è riferita a due altri fenomeni generali; la radiazione del calorico e la condensazione di un vapore invisibile per via del freddo. La causa del primo è soggetto di assai più alta investigazione, e può dirsi essere totalmente sconosciuta: quella del secondo è una parte attuale e importantissima di fisiche ricerche. In un caso simile, quando si fa un ragionamento retrogrado finchè si arriva ad un fatto finale, noi riguardiamo un fenomeno come pienamente spiegato: nello stesso modo che si riguarda un ramo d'albero come terminato quando si è seguito sino alla sua incorporazione col tronco, o un ramoscello sino alla sua unione col ramo; o piuttosto come un ruscello conserva la sua importanza e il suo nome finchè non è perduto in un più largo torrente o nel fiume primario che lo tragge seco nell'Oceano. Questo, tuttavia, dipende sempre dalla supposizione che riconsiderando il caso, vediamo chiaramente siccome l'ammessione di un tal fatto con tutte le sue leggi compagne, rende

(1) Wells, sulla rugiada.

perfettamente ragione di *ogni particolare* — tanto di quelli che, nei diversi gradi dell'induzione, ci hanno condotti a conoscerlo, quanto degli altri che abbiamo trascurato o considerato con minor diligenza del rimanente. Ma se non avessimo avuto una previa conoscenza della radiazione del calorico, questa medesima induzione ce l'avrebbe fatta conoscere e, ben considerata, ella avrebbe potuto condurre alla scoperta di molte delle sue leggi.

170. Nello studio della natura non dobbiamo adunque essere scrupolosi intorno al modo col quale arriviamo ad una conoscenza di simili fatti generali: purchè li verifichiamo diligentemente quando una volta sono scoperti, dobbiamo star contenti ad afferrarli dovunque si possono trovare. E questo ci conduce a considerare la *verificazione* delle induzioni.

171. Se nella nostra induzione ogni caso individuale è veramente stato considerato, siamo sicuri che si troverà debitamente *rappresentato* nella nostra conclusione finale: ma questo è impossibile per quei casi che ci erano *sconosciuti*, e difficilmente può aver luogo in tutti i casi conosciuti; poichè tale è la tendenza della mente umana alla specolazione, che alla menoma idea di un'analogia fra alcuni pochi fenomeni, essa si slancia, per così dire, verso una causa o una legge, con temporaria trascuranza di tutto il rimanente; cosicchè, infatto, quasi tutte le nostre principali induzioni debbono essere riguardate come una serie di salite e di discese e di conclusioni tratte da pochi casi, verificate collo sperimento di molti.

172. Ogniqualvolta, adunque, crediamo di essere

stati condotti dall' induzione alla cognizione della causa prossima di un fenomeno o di una legge di natura, la prima cosa che s' ha da fare si è di esaminare deliberatamente e *seriatim* tutti i casi che abbiamo raccolti della sua occorrenza, affine di persuaderci che si possono spiegare con la nostra causa, o sono correttamente inclusi nell' espressione della nostra legge; e nel caso che alcuna eccezione occorra, essa debbe venir diligentemente notata e posta da parte per un novello esame da farsi dopo un maggior progresso, nel quale forse la causa dell' eccezione verrà a comparire, e l' eccezione medesima (fatta ragione dell' effetto di quella causa), potrà essere conciliata colla nostra induzione. Ma se le eccezioni fossero numerose e varie nelle loro apparenze, la nostra credenza nella conclusione sarà indebolita in proporzione, e in ogni caso la sua importanza sarà scemata dal perdere la sua universalità.

175. Nel dirigere questa verificazione dobbiamo considerare se la causa o la legge cui siamo condotti sia già riconosciuta come una più generale, la cui natura è ben intesa, e per cui il fenomeno di cui si tratta non sarebbe altro che un caso di più da aggiungersi agli altri già noti, o veramente se sia una causa o legge meno generale, meno nota, o interamente nuova. In questa seconda ipotesi la nostra verificazione basterà, se proverà meramente che tutti i casi considerati sono all' evidenza pertinenti. Ma nella prima il metodo della verificazione è di un genere assai più rigoroso e definito. Dovremo rintracciare l' azione della nostra causa in un modo distinto e preciso, qual è

modificata da tutte le circostanze di ciaschedun caso; dovremo stimarne gli effetti e mostrare che nulla rimane indietro che non sia spiegato; almeno in quanto la presenza di sconosciute cause modificanti non vi è interessata.

174. Questa è precisamente la specie di operazione in cui i *fenomeni residui* (di cui si è parlato nel § 158) possono occorrere. Se la nostra induzione è veramente valida e comprensiva, *tutto ciò* che rimane di non ispiegato nel paragone della sua conclusione coi casi particolari in tutte le loro circostanze, *è* un fenomeno di questa fatta, e viene alla sua volta ad essere soggetto di raziocinio induttivo per iscoprire le sue cause e le sue leggi. In questo modo si può dire che siamo presenti ai fatti cogli occhi della ragione, e così acquistiamo continuamente la conoscenza di nuovi fenomeni e di nuove leggi, che giacciono sotto la superficie delle cose, e danno origine a nuove parti di scienza, sempre più remote dall' osservazione comune.

175. L' astronomia fisica offre molti e splendidi esempi di questo. La legge, per esempio, la quale stabilisce che i pianeti sono trattenuti nelle loro orbite intorno al sole, e i satelliti intorno ai loro primari, da una forza attrattiva decrescente come il quadrato delle distanze aumenta, viene ad essere verificata in ogni caso particolare deducendone gli esatti movimenti che in tali circostanze dovrebbero aver luogo e paragonandoli col fatto. Questo paragone, mentre verifica in generale l' esistenza della legge di gravitazione quale è supposta, e la sua idoneità a spiegare tutti i principali movimenti di ogni corpo nel si-

stema, lascia tuttavia alcune deviazioni in quei pianeti, ed altre assai considerevoli nella luna ed altri satelliti, non ancora spiegate; fenomeni residui dei quali restano ancora a rintracciarsi le cause. Con un ulteriore esame di questi, le loro cause furono finalmente scoperte, e furono trovate consistere nelle mutue azioni dei pianeti l'uno sull'altro, e nella perturbante influenza del sole sui movimenti dei satelliti.

176. Ma una legge di natura non ha quel grado di generalità che ne fa un gradino a maggiori induzioni, se non è *universale* nella sua applicazione. Non possiamo fidarci che ci faccia stendere le nostre viste al di là del circolo dei casi dai quali fu tratta, se non abbiamo già sperimentato il suo potere di farlo; se non ci *ha* attualmente messi in grado prima dello sperimento di dire che cosa accadrà in casi analoghi a quelli originariamente contemplati; se in fine non ci siamo espressamente posti nell'attitudine di suoi antagonisti e non abbiamo anche pertinacemente tentato invano di trovarvi eccezioni. Il pregio e l'importanza di una legge stabilita debbono essere stimati nella precisa proporzione del modo con cui essa sopporta quest' estremo rigore di sperimento; e il nostro secondo passo nella verificazione di un'induzione debbe pertanto consistere nell'*estendere* la sua applicazione a casi originariamente non contemplati; nel variare con istudio le circostanze sotto le quali le nostre cause agiscono, coll'intento di assicurarci se il loro effetto è generale; e nello spingere l'applicazione delle nostre leggi a casi estremi.

177. Per esempio, una plausibile induzione da un

gran numero di fatti condusse Galileo a conchiudere che la forza accelerante della gravità è la stessa in ogni sorta di corpi, e tanto nelle grandi quanto nelle picciole masse senza differenza; e questo egli provò lasciando cadere nello stesso istante da un' alta torre corpi di natura e di peso assai diversi, nella quale occasione fu osservato ch'essi giungevano a terra nello stesso momento, salvo una certa leggerissima differenza da attribuirsi, siccome egli giustamente pensava, alla maggior resistenza proporzionale dell'aria nei leggeri che nei pesanti. Lo sperimento non potè allora essere esteso alle sostanze sommamente leggere, quali sono il sughero, le penne, il cotone, ecc., a motivo della gran resistenza che questi provano nel cadere; non conoscendosi ancora alcun mezzo di rimuovere quest'ostacolo. Non fu dunque se non dopo l'invenzione della macchina pneumatica che questa legge potè essere sottoposta alla rigorosa prova di un caso estremo. Una ghinea ed una leggerissima piuma furono lasciate cadere dall'alto di una campana di vetro esausta d'aria, e toccarono il fondo nello stesso momento. Se ne faccia lo sperimento *nell' aria* e si vedrà la forza di un *caso estremo.*

178. Nella verificazione di una legge la cui espressione è *quantitativa*, non solamente la sua generalità debb'essere stabilita da prove, in tante circostanze diverse quante saranno possibili, ma ogni prova debbe consistere in un misuramento preciso. E in tali casi i mezzi adoperati per assoggettarla ad una prova dovranno essere imaginati in modo che si possa ripetere e moltiplicare un gran numero di volte una qualunque

deviazione (se ve ne esistesse alcuna), affinchè per picciola che sia, essa divenga finalmente sensibile.

179. Per esempio, sia da verificarsi la legge che *le gravità di ogni corpo materiale è in proporzione diretta dalla sua massa*, il che non è altro che un modo diverso di esprimere la legge sopra mentovata di Galileo. Il tempo impiegato nel cadere da una discreta altezza non può essere misurato con precisione sufficiente al nostro oggetto; ma se la prova potrà essere ripetuta un gran numero di volte senza *perdita* o *guadagno* di tempo negl' intervalli, e l' intero ammontare dei tempi delle cadute successivamente ripetute sarà misurato con un cronometro; se nello stesso tempo la resistenza dell' aria potrà esser renduta *esattamente uguale* per tutti i gravi provati, avremo lo sperimento di Galileo molto più raffinato; ed è evidente che si potrà ottenere una quasi illimitata esattezza. Tutto questo fu eseguito da Newton con la semplice e bella invenzione d' inchiudere in un pendolo voto gli stessi pesi di un gran numero di sostanze scelte fra le più diverse che si potessero trovare in tutti i rispetti, come sono l' oro, il vetro, il legno, l' acqua, il grano ecc. (1), con accertarsi del tempo richiesto, per un pendolo così caricato, a fare un gran numero di oscillazioni; in ciascuna delle quali è chiaro che i pesi dovevano cadere ed innalzarsi di nuovo successivamente senza perdita di tempo lungo gli stessi ed *identici* spazi. In questo modo ogni differenza, quantunque leggera, che potesse esistere nel tempo impiegato nel ca-

(1) Principia, lib. III, prop. 6.

dere e nell'alzarsi una volta, verrebbe ad essere moltiplicata ed accumulata tanto da divenir sensibile. E nessuna essendo stata scoperta in alcun caso con un metodo così dilicato, si considerò la legge per verificata tanto nella generalità quanto nell'esattezza. Questo è tuttavia un nulla a fronte delle verificazioni che accadono nei fenomeni astronomici, nei quali le deviazioni, se ve n'hanno, si accumulano per migliaia d'anni invece di poche ore.

180. I più sicuri e migliori segni caratteristici di un' induzione ben fondata ed estesa sono tuttavia quelli che occorrono quando le sue verificazioni spuntano, per così dire, di per se stesse alla luce da quelle parti donde meno si aspetterebbero, od anche fra casi di quella medesima specie che dapprima le si riputavano ostili. Prove di questa natura sono irresistibili e convincono con una forza che quasi nissun' altra possiede. Per darne un esempio: Il signor Mitscherlich aveva annunziata una legge di questo tenore — *che* gli elementi chimici di cui tutti i corpi sono composti, possono essere classificati in gruppi distinti, che egli chiamò gruppi *isomorfi;* e *che* questi gruppi hanno tal relazione, che quando si formano combinazioni simili d'individui appartenenti a due, a tre, o a un maggior numero di essi, queste combinazioni si cristallizzeranno nelle medesime forme geometriche. A questa curiosa ed importante legge si notava un'eccezione singolare. Secondo il professore Mitscherlich, gli acidi arsenicale e fosforico *sono* combinazioni simili comprese nell'espressione della sua legge, e le loro combinazioni con la soda e con l'acqua, le quali

formano i sali conosciuti dai chimici sotto i nomi di arseniato e di fosfato di soda, se la legge fosse generale, dovrebbero cristallizzarsi in forme identiche. Tuttavia si credeva che il fatto fosse diverso. Ma non ha guari il signor Clarke chimico inglese, avendo esaminato attentamente i due sali, riconobbe il fatto che le loro composizioni si scostano essenzialmente da quella somiglianza che la legge del Mitscherlich richiede; e che per conseguenza l'eccezione sparisce. Questo era già un passo: ma proseguendo ulteriormente il soggetto, lo stesso ingegnoso investigatore fortunatamente pervenne a produrre un *nuovo* fosfato di soda, diverso dall'altro generalmente conosciuto, in ciò che contiene una diversa proporzione d'acqua, e perfettamente simile nella composizione all'arseniato. I cristalli di questo nuovo sale allorchè furono esaminati vennero da lui trovati essere precisamente identici nella forma a quelli dell'arseniato: confermando così in una maniera assai sorprendente e affatto inaspettata la legge di cui si tratta, o come si chiama, la legge dell'*isomorfismo.*

181. Inaspettate e sorprendenti confermazioni di leggi induttive frequentemente occorrono nella forma di fenomeni residui, nel corso d'investigazioni d'una natura assai diversa da quelle che diedero origine alle induzioni medesime. Un leggiadro esempio ne può esser citato nella conferma inaspettata della legge dello sviluppo del calorico nei fluidi elastici per mezzo della compressione, presentata dai fenomeni del suono. Le investigazioni della causa del suono avevano condotto a conclusioni riguardanti il suo modo di propa-

garsi, dalle quali la sua velocità nell'aria poteva essere con precisione calcolata. I calcoli furono eseguiti: ma quando vennero paragonati col fatto, quantunque la concordanza fosse sufficientissima a dimostrare che la causa e il modo di propagazione assegnati erano generalmente esatti, tuttavia non si poteva mostrare che la velocità *intera* conseguisse da quella teoria. V'era ancora da render ragione di una velocità *residua*, che pose lungamente i filosofi dinamici in un gran dilemma. Finalmente, Laplace s' imbattè nella felice idea che questa potesse nascere dal calorico sviluppato nell'atto di quella condensazione la quale segue necessariamente ad ogni vibrazione con cui il suono è comunicato. La cosa fu sottoposta a calcoli esatti e il risultato ne fu tosto la spiegazione compiuta del fenomeno residuo, ed una sorprendente conferma della legge generale dello sviluppo del calorico per via della compressione in circostanze poste fuori dell'imitazione artificiale.

182. Nello stendere le nostre induzioni a casi non originalmente contemplati, v'è un passo che sempre colpisce la mente con una forza peculiare, e con una tale sensazione di novità e di sorpresa, da dargli sovente un peso al di là del suo filosofico valore. Ella è la transizione dal piccolo al grande e *viceversa*, ma specialmente la prima. È così bello il vedere, per esempio, uno sperimento fatto in un picciolo recipiente o con un cannello saldatorio riuscire in una gran manifattura sopra molti *quintali* di materia, o nel seno di un volcano su milioni di braccia cubiche di lava, che quasi dimentichiamo come queste gran masse so-

no composte di parti simili a quelle contenute in piccioli recipienti o ai granellini formati coi cannelli. Noi vediamo gli enormi intervalli esistenti fra le stelle e i pianeti del cielo, che lasciano luogo ad innumerevoli operazioni, alla circolazione della luce e del calorico, ed a curiosi e complicati movimenti fra quelli operantisi; guardiamo più attentamente e vediamo sistemi siderei, forse non meno vasti e complicati del nostro, affollati apparentemente in un picciolo spazio (per l'effetto della loro distanza da noi), e formanti gruppi che somigliano a corpi di apparenza sostanziale dotati di forme; e tuttavia mostriamo un'incredula sorpresa quando ci si domanda *perchè* non possiamo concepire che gli atomi di un granello di sabbia siano così remoti l'uno dall'altro (in proporzione delle loro dimensioni) come le stelle del firmamento; e perchè in quel picciolo microcosmo non si operino cose altrettanto complicate e maravigliose quanto quelle del gran mondo intorno a noi. Tuttavia lo studioso che fa qualche progresso nella filosofia naturale incontrerà casi innumerevoli nei quali questo trasporto d'idee da un estremo di grandezza all'altro sarà necessario; egli troverà, per esempio, i fenomeni della propagazione dei venti riferiti alle stesse leggi che regolano quella dei movimenti a traverso le più picciole masse d'aria; quelli della folgore assimilati alla semplice comunicazione di una scintilla elettrica; e quelli dei terremoti al tremare di un filo di ferro teso; in somma egli debbe far conto di trovare la distinzione di grande e di piccolo affatto annientata in natura; e buon per l'uomo che così accada e che le stesse leggi,

che può scoprire e verificare nella sua circoscritta sfera di potere, gli siano utili quando viene ad applicarle su di una gran scala; poichè per questo solo mezzo egli può divenire una causa eccitante in operazioni di qualche grandezza considerevole, e mostrare la sua importanza nella creazione.

183. Ma l'oggetto dell'induzione qui non finisce: il suo risultamento finale debb' essere ricercato in tutte le sue conseguenze, ed applicato a tutti quei casi che sembrano anche remotamente poter influire sul soggetto dell'investigazione. Ogni novella aggiunta al nostro capitale di cause diviene un mezzo di nuovo attacco da una posizione più favorevole contro tutte quelle parti non ancora spiegate di passati fenomeni che già resistettero ai nostri sforzi. Non si può inculcare abbastanza allo studioso della natura esservi appena un fenomeno naturale che possa essere pienamente e compiutamente spiegato in tutte le sue circostanze senza l'unione di parecchie e forse di tutte le scienze. Sebbene i gran fenomeni dell'astronomia possono essere riguardati come eccezioni; ma questo proviene solamente dall'esser quelli di una natura così vasta, che una sola delle più estese forze della natura è, per così dire, posta in prima fila, e tutti quegli agenti la cui sfera d'azione è ristretta a minori limiti, e che determinano la produzione di fenomeni più a noi vicini, rimangono indietro e divengono comparativamente insignificanti. Ma nei fenomeni più intimi che ci attorniano, la cosa è assai diversa. In che complicazione di diverse parti di scienza non siamo noi tratti dalla considerazione di un fenomeno qual

è la pioggia, o la fiamma, o mille altri che costantemente accadono sotto gli occhi nostri? Quindi è appena possibile di giungere alla conoscenza di una legge di qualche generalità in qualunque parte della scienza, che non ci somministri immediatamente il mezzo di ampliare la nostra conoscenza di altre innumerevoli, remotissime dal punto da cui partiamo; cosicchè quando una volta siamo impegnati in un'indagine fisica, egli è impossibile il predire dove possa andare a riuscire.

184. Quest' osservazione appartiene più propriamente al metodo inverso o *deduttivo*, per cui seguitiamo le leggi nelle loro remote conseguenze. Ma è importantissimo il notare che per un felice successo di scientifica inquisizione si richiede continuamente l'uso alterno dei due metodi *induttivo* e *deduttivo*. Il sentiero per cui ascendiamo al sapere debb'essere fatto piano e trito ne'suoi primi gradini a forza di salire e di discendere, prima che possiamo giungere a qualche eminenza, non che arrampicarci in sulla vetta. L'impresa è troppo grande per un solo sforzo; stazioni sono da stabilirsi, e comunicazioni da tenersi aperte con tutto ciò che sta al di sotto. Ma per lasciare il linguaggio metaforico, non v'è nulla di sì istruttivo, o di così atto a condurre all'acquisto di viste generali, quanto questo rintracciamento delle conseguenze di una legge che si sia trovata, in ogni soggetto in cui sembri dover probabilmente esercitare un'influenza. La scoperta di una nuova legge di natura, di un nuovo fatto finale, o di uno che assuma anche temporariamente quest' apparenza, è come la

scoperta di un nuovo elemento nella chimica. Così il selenio fu appena scoperto da Berzelius nella fabbrica di vitriolo di Fahlun, che immediatamente fu trovato nei sublimati di Stromboli, e nei rari e curiosi prodotti delle miniere ungaresi. E lo stesso accade di ogni nuova legge o fatto generale. Appena è annunziato, i suoi vestigi si trovano dappertutto, ed ognuno si maraviglia che sia rimasto così lungamente celato. Quindi avviene che una luce inaspettata è finalmente sparsa su parti di scienza che erano state abbandonate per disperazione, e senza speranza lasciate in preda alle tenebre.

185. Abbiamo già parlato della verificazione delle leggi *di quantità* (§ 178); ma la loro importanza nella scienza fisica è così vasta, in quanto che esse sole danno la chiave di un'applicazione deduttiva strettamente matematica, che si vuol dire qualche cosa della natura delle induzioni per cui si può giungere sino a quelle. Nei loro gradi più semplici o meno generali (de' quali soli parliamo presentemente) esse sono solite ad esprimere qualche relazione numerica fra due quantità dipendenti l'una dall'altra, sia come effetti collaterali di una causa comune, sia come ammontare del suo effetto sotto certe circostanze numeriche o *dati*. Per esempio, la legge di rifrazione di sopra citata (§ 22) esprime, con una semplicissima relazione, l'ammontare della deviazione angolare di un raggio di luce dal suo corso, quando l'*angolo* della sua inclinazione alla superficie rifrangente è conosciuto, cioè: che il *seno* dell'angolo che il raggio incidente fa con una perpendicolare alla superficie, è sempre in

proporzione costante a quello dell'angolo che il raggio rifratto fa con la medesima perpendicolare, finchè la sostanza rifrangente è la stessa. Per giungere induttivamente a leggi di questa natura, in cui una quantità *dipende* da un' altra o *varia* con essa, tutto ciò che si richiede è una serie di misure accurate ed esatte in ogni stato differente del *datum* e del *quaesitum*. Qui tuttavia la forma matematica della legge essendo della più alta importanza, si debbe fare la più grande attenzione ai *casi estremi*, come pure a tutti quei punti nei quali l' una quantità cangia rapidamente per un picciolo cambiamento dell' altra (1). I risultamenti debbono essere notati in una tavola nella quale il *datum* gradatamente cresce in grandezza dal più basso al più alto limite di cui sia capace. Dipenderà allora interamente dalla nostra sperienza nel trattare soggetti matematici il potere o no inchiudere una simil tavola nella distinta enunciazione di una legge matematica. La scoperta di queste leggi è spesso notevolmente facilitata dalla contemplazione di una classe di fenomeni di cui parleremo in appresso sotto il titolo di *Casi collettivi* (vedi § 194), in cui la natura dell' espressione matematica nella quale è compresa la legge cercata, viene indicata dalla figura di qualche curva che un giusto modo di sperimentare ci pone sott' occhio.

(1) Un esempio curiosissimo dello sperimento di una legge compiutamente empirica in un caso estremo, è da vedersi nella regola di Newton per la dilatazione de' suoi anelli colorati veduti fra vetri a grandi obbliquità. Ottica, lib. II, parte I, oss. 7.

186. Per altro, se la nostra induzione non abbraccerà una serie di casi assolutamente inchiudenti tutta la gradazione della variazione ammessa dalle quantità di cui si tratta, l'espressione matematica in questo modo ottenuta non potrà essere considerata come la vera, e se la gradazione attualmente abbracciata sarà piccola, l'estensione di leggi così derivate a casi estremi sarà assai probabilmente fallacissima. Per esempio, l'aria è un fluido elastico, e siccome tale, se vien rinchiuso in uno spazio limitato e quivi compresso, il suo volume diminuisce; ora da un gran numero di sperimenti fatti in casi nei quali l'aria è stata compressa nella metà, nel terzo ecc., ed anche nella cinquantesima parte del suo volume, è stato conchiuso che « la densità dell'aria è proporzionata alla forza comprimente », o il volume che occupa è *inverso* a quella forza; e quando l'aria vien rarefatta col togliere una parte della forza naturale che la comprime, si trova che lo stesso accade entro limiti assai estesi. Tuttavia egli è impossibile che questa sia, strettamente o matematicamente parlando, la vera legge; poichè, se così fosse, non vi sarebbe limite alla condensazione dell'aria, e per altra parte abbiamo le più forti analogie per dimostrare che assai prima che la condensazione giungesse ad un grado enormissimo, l'aria sarebbe ridotta in liquido, e forse forse in forma solida se fosse compressa in un modo ancor più violento.

187. Le leggi così derivate dal metodo diretto d'inchiudere in formole matematiche i risultati di un maggiore o minor numero di misuramenti sono chiamate

leggi empiriche. Un bell' esempio di questa legge è quello dato dal Dr. Young (Trans. fil. 1826) pel decremento della vita, ovvero legge di mortalità. Le leggi empiriche in questo stato sono evidentemente *induzioni* non verificate, e debbono essere ricevute, e vi si debbe ragionar sopra con la maggior riserbatezza. Nessuna confidenza vi può mai esser riposta fuori dei limiti dei dati da cui sono derivate; e dentro a quei limiti stessi richieggono uno squittinio speciale e severo per esaminare sino a qual grado rappresentino i fatti osservati; vale a dire, se nel paragone dei loro risultamenti con le quantità osservate, le differenze siano tali da potersi con giustizia attribuire ad errore di osservazione. Quando sono accuratamente esaminate in questo modo, esse divengono tuttavia preziosissime; e frequentemente, quando sono poi teoricamente verificate con un metodo deduttivo (come si spiegherà nel prossimo capitolo), si trovano essere leggi rigorose di natura, e sono i più nobili e i più convincenti sostegni cui le teorie stesse si possano appoggiare. I più begli esempi di questo genere sono le gran leggi dei movimenti planetari dedotte da Keplero dal solo paragone di osservazioni tra loro senza alcun aiuto della teoria. Queste leggi, — che i pianeti si muovono in ellissi intorno al sole; — che ognuno descrive intorno al centro del sole aree eguali in tempi eguali; — e che nelle orbite di diversi pianeti i quadrati dei tempi periodici sono proporzionali ai cubi delle distanze, furono i risultati di un lavoro inconcepibile di calcolo e di paragone; ma rimunerarono ampiamente della fatica impiegata, col sommi-

nistrar poscia le prove più conchiudenti e più incontrastabili del sistema Newtoniano. Per altra parte, quando uno si fida più del dovere delle leggi empiriche oltre i limiti delle osservazioni dalle quali sono dedotte, non v'è più feconda sorgente di fatali inganni. Le formole state empiricamente dedotte per l'elasticità del vapore (sino a questi ultimi tempi), e quelle per la resistenza dei fluidi, ed altri oggetti simili, quasi invariabilmente non hanno potuto sostenere gli edifizi teorici che su di esse furono eretti.

188. È un fatto notevole quanto fortunato, che la più breve e più diretta di tutte le induzioni sia quella che condusse ad un tratto e quasi con un sol passo alle più alte di tutte le leggi naturali, — quelle del movimento e della forza. Nulla può essere più semplice, più preciso e più generale dell'enunciazione di queste leggi; e, siccome abbiamo già altra volta osservato, la loro applicazione a fatti particolari nel metodo discendente o deduttivo non è limitata da altro fuorchè dalla ristrettezza dei confini delle matematiche. Parrebbe adunque che la scienza dinamica fosse quindi innanzi posta fuori dei limiti dell'induzione e trasformata in una materia di assoluto raziocinio *a priori* al pari della geometria; e così appunto sarebbe se le matematiche fossero perfette e tutti i *dati* fossero conosciuti. Sfortunatamente la cosa è così lungi dall'esser vera, che in molte delle più interessanti parti dell'investigazione dinamica, per difetto delle matematiche, noi rimaniamo incagliati. E questo è particolarmente sentito, per esempio, in ciò che si riferisce ai movimenti dei fluidi. Possiamo, è vero,

inchiudere i nostri problemi in equazioni algebraiche, e possiamo dimostrare che *contengono* le soluzioni; ma le equazioni stesse sono così intrattabili, e presentano difficoltà così insuperabili, che spesso ci lasciano quasi nella stessa oscurità di prima. Ma fossero anche vinte queste difficoltà, si dovrà tuttavia aver ricorso all'esperienza per istabilire i *dati* dai quali le applicazioni particolari debbono dipendere; e sebbene l'analisi matematica somministri potentissimi mezzi di *rappresentare* in termini generali i *dati* di qualunque caso proposto, e *poscia*, paragonando i suoi risultamenti col fatto, determinare *quali* debbano essere questi dati per ispiegare il fenomeno osservato, tuttavia, in qualunque modo che si consideri la materia, un ricorso all'esperienza, in ogni caso particolare di applicazione, è inevitabile, anche quando i principii generali sono riguardati come sufficientemente stabiliti senza di essa. Ora in tutti questi casi di difficoltà dobbiamo ricorrere ai nostri metodi induttivi, e riguardare le parti della scienza dinamica, nelle quali questo accade, come puramente sperimentali. Da ciò ricaviamo un immenso vantaggio, cioè: che in tutti quei punti nei quali i principii dinamici astratti somministrano conclusioni distinte, noi otteniamo verificazioni del più alto e più bel genere possibile delle nostre induzioni. Allorchè a passo a passo ascendiamo induttivamente ad uno di questi risultamenti, non possiamo a meno di sentire in noi il maggior convincimento della validità dell'induzione.

189. La necessità di ricorrere in questo modo allo sperimento in ogni cosa riguardante i movimenti dei

fluidi in grande, è stata da lungo tempo sentita. Lo stesso Newton che pose i primi fondamenti della scienza idrodinamica (così si chiama questa parte della dinamica) la vide chiaramente, e diede l'esempio di laboriosi ed esatti sperimenti intorno alla loro resistenza al moto e ad altri particolari. Venturi, Bernoulli e molti altri hanno applicato il metodo sperimentale ai movimenti dei fluidi in tubi e in canali; e recentemente i fratelli Weber hanno pubblicato un'elaborata ed eccellente investigazione sperimentale dei fenomeni delle onde. Uno dei maggiori e più felici tentativi per ridurre un'importante e sin'allora oscurissima parte d'investigazione dinamica sotto l'impero dello sperimento, è tuttavia stato fatto da Chladni e Savart nel caso del suono e del moto vibratorio in generale; ed è grandemente da desiderarsi che il loro esempio sia seguito in molti altri, non meno astrusi ed impraticabili quando sono trattati teoricamente. In questi casi si può dire che i metodi induttivo e deduttivo d'investigazione si danno la mano, l'uno di essi verificando le conclusioni dedotte dall'altro; e la combinazione dello sperimento e della teoria che si può adoperare con effetto forma un ordigno di scoperta assai più potente che l'uno o l'altra adoperati separatamente. Questo stato di qualunque divisione della scienza è forse di tutti il più soddisfacente, siccome quello che è promettitore di più larga messe nelle ricerche.

190. Non è da aspettarsi che terminiamo questa parte del nostro soggetto senza far menzione delle « prerogative de' casi » di Bacone, per cui egli inten-

de i fenomeni caratteristici, scelti dalla gran massa miscellanea di fatti che occorrono in natura, e che pel loro numero, e la loro condizione indistinta e complicata, tendono piuttosto a confondere che a dirigere la mente nella sua ricerca di cause e di principii generali d'induzione. I fenomeni scelti a questo modo, a motivo di qualche loro mezzo peculiare e potente di colpire la ragione e di farci provare una specie di senso di causalità, od una particolare attitudine a generalizzare, egli li considera giustamente come aventi una certa dignità privilegiata, che richiede la nostra prima e speciale attenzione nelle fisiche investigazioni.

191. Già abbiamo osservato che, nel fare induzioni, per lo più accade che siamo condotti alle nostre conclusioni dalla forza speciale di due o tre fatti che ci fanno una forte impressione, piuttosto che da una considerazione regolare di tutta la massa dei casi; quindi la necessità di cautamente verificarle. E per verità questa propensione della mente umana è così forte che non v'ha quasi cosa più comune del trovare persone pronte ad assegnare una causa per tutto ciò che veggono, e nel far questo ad associare le cose più incongrue per mezzo delle più fantastiche analogie. Il perchè diviene evidentemente della maggior importanza che questi primi e pronti impulsi della mente siano diretti alla contemplazione di quei casi che più probabilmente possono condurre a buone induzioni. Per mala sorte, tuttavia, nella filosofia naturale la scelta non dipende da noi. I casi vogliono essere studiati di mano in mano che la natura ce li presenta.

E quand'anche ne avessimo una lista in una tavola ordinata, dobbiamo intenderli e paragonarli l'uno coll'altro, prima di poter dire *quali siano* quelli cui meritamente è dovuta la più alta considerazione. E dopo tutto ciò, dopo molta fatica impiegata invano nell'andar tentone nelle tenebre, un accidente o una casuale osservazione ci presenterà un caso che a un tratto ci scopre tutte le parti di un soggetto prima che abbiamo pur tempo di determinare a qual classe la sua dignità o *prerogativa* appartenga. Per esempio, le leggi della cristallografia, erano oscure e le sue cause maggiormente ancora, finchè Haüy lasciò per fortuna cadere un bel cristallo di spato calcareo sopra un pavimento di pietra e lo spezzò. Nell'accozzare insieme i frammenti, egli osservò che le loro faccette non corrispondevano con quelle del cristallo nel suo stato intero, ma appartenevano ad un'altra forma: e seguendo l'avviso dato da questo *caso manifesto* così accidentalmente venutogli sott'occhio, scoprì le belle leggi del *clivaggio* o *sfaldamento* (1) e delle forme primitive dei minerali.

192. Egli ci è sempre parso, il dobbiamo confessare, che l'aiuto prestato alle induzioni dalla classificazione di casi sotto i loro diversi titoli di prerogativa, per giusta che questa classificazione sia per se stessa, è tuttavia più apparente che reale. La forza del caso debb'essere sentita nella mente prima che

(1) Il *clivaggio*, che alcuni hanno tratto dall'inglese *cleavage*, è quella proprietà che hanno i cristalli di spaccarsi, sfaldarsi o dividersi in certe direzioni. — *Nota del Traduttore*.

possa esser collocato a suo luogo nel sistema: e prima di poter esser collocato ed apprezzato debb'esser conosciuto; e quando *è* apprezzato noi siamo inclinati ad intrecciarlo nella nostra tela d'induzione, senza badar troppo a ricercare donde tragga il peso che lo vediamo aver nelle nostre decisioni. Tuttavia, poichè molta importanza è comunemente attribuita a questa parte dell'opera di Bacone, daremo qui alcuni pochi esempi per illustrare la natura di alcuni de' suoi *casi* principali (1). Uno di quelli ch' egli chiama *casi ma-*

(1) Acciò il lettore non si maravigli della singolarità di certe espressioni tolte qui da Bacone, stimiamo opportuno di brevemente accennare quali siano i termini originali di cui quel filosofo si serve nella lingua, per così dire, da lui creata nel suo *Novum organum*. Ciò che noi traduciamo per *casi*, e che nell'inglese vien detto *instances*, Bacone lo chiama *instantiæ*; ora queste *instantiæ* sono *casi* od *esempi*, ed ora *fenomeni*, *fatti*, *esperimenti*; e ve n'hanno di molte specie, fra le quali ci contenteremo d'indicare le seguenti: *instantiæ ostensivæ* (manifeste); *instantiæ clandestinæ* (clandestine od oscure); *instantiæ migrantes* (migranti o viaggianti); *instantiæ manipulares* (collettive); *instantiæ limitaneæ* (di limiti); *instantiæ comitatus atque hostiles* (di accompagnamento e di separazione); *instantiæ fœderis* (di alleanza o di unione); *instantiæ crucis* (di croce), ecc. ecc. Le quali tutte, a ben intenderle, richieggono una cognizione particolare del modo di pensare e dello stile tecnico di Bacone. Per dar un esempio dell'origine di queste espressioni, alcune delle quali sembrano adesso così strane, basti il dire che nelle *instantiæ crucis* Bacone tolse l'idea dalle *croci* piantate nei bivii per indicare la strada ai viaggiatori; cosicchè queste *instantiæ* debbono secondo lui determinare l'animo del filosofo fra due o più conclusioni, come la *mano* posta su dell'uno o dell'altro braccio di una croce segna la via che il viaggiatore debbe seguire. — *Nota del Traduttore.*

nifesti è stato pur ora mentovato. In questi la *natura* o la causa ricercata (che nel caso addotto è la causa dell' assumere una peculiar forma esterna, o la *struttura* interna di un cristallo) « sta nuda e sola, e in una maniera eminente, ovvero nel più alto grado della sua potenza ». Senza dubbio esempi come questi sono altamente istruttivi; ma in fisica la difficoltà sta nel trovarli e non nel riconoscere la loro forza quando sono trovati.

193. Opposti ai *manifesti* sono « *i casi clandestini* » nei quali « la natura cercata si presenta nel suo stato più debole e più imperfetto ». Di questo Bacone medesimo ci ha dato un esempio mirabile nella coesione dei fluidi come *esempio clandestino* della « *natura* o qualità della consistenza o della solidità ». Ma qui lo stesso acuto discernimento che fece vedere a Bacone l' analogia che connette i fluidi coi solidi, per via della proprietà comune dell' attrazione coesiva, se avesse avuto i necessari aiuti, l' avrebbe messo in grado di trarne nello stesso tempo ogni conseguenza necessaria a formarsi una giusta idea della forza coesiva; nè il suo collocamento nella classe di casi clandestini aiuta in alcun modo a promuoverne e maturarne i finali risultamenti. Tuttavia quando il risultamento finale è ottenuto, — quando la nostra induzione è compiuta e bramiamo di verificarla, — questa classe di casi è di un grand' uso, essendo, in fatto, frequentemente nient' altro che quella dei *casi estremi*, dei quali abbiam già parlato (§ 177); che ponendo le nostre conclusioni, per così dire, in circostanze violente, ne mettono la tempra ed il vigore alla prova.

194. I « *casi collettivi* » nella classificazione di Bacone non sono altra cosa che fatti generali o leggi di qualche grado di generalità e sono essi medesimi il risultamento dell' induzione. Ma vi è una specie di casi collettivi, che Bacone sembra non aver contemplata, la quale è di un carattere peculiarmente istruttivo; ed ha luogo quando casi particolari si offrono alla nostra osservazione in sì gran numero da rendere l' induzione della loro legge una cosa d' ispezione oculare. Per esempio, la forma parabolica presa da un zampillo d' acqua che esca da un buco tondo, è un caso od esempio *collettivo* delle velocità e direzioni dei moti di tutte le particelle che lo compongono *vedute a un tratto*, e che ci mena senza difficoltà a riconoscere la legge del moto di un proietto. Parimente le belle figure che presenta la sabbia sparsa sopra piattelli regolari di vetro o di metallo posti in vibrazione, sono *esempi collettivi* di un numero infinito di punti che rimangono in riposo mentre vibra il rimanente del piattello; e per conseguenza ci fanno, per così dire, vedere la legge che regola la loro disposizione e la loro seguenza per tutta la superficie. Le lemniscate bellamente colorite che si veggono intorno agli assi ottici di cristalli esposti ad una luce polarizzata, somministrano un magnifico esempio dello stesso genere, che indica a un tratto l' espressione generale matematica della legge che regola la loro produzione (1). Di casi collettivi quali sono questi è facile il vedere l' importanza e la ragione. Essi ci con-

(1) Vedi Trans. filosofiche 1819.

ducono ad una legge generale per un'induzione che si offre spontaneamente, e così divengono punti avanzati nelle nostre ricerche e quando partiamo da queste, già « mille passi sono fatti ».

195. Un bell'esempio di un caso collettivo l'abbiamo nel sistema di Giove o di Saturno coi suoi satelliti. Abbiamo qui in miniatura, e vediamo di un sol tratto, un sistema simile a quello dei pianeti intorno al sole; del quale per la circostanza che noi vi ci troviamo involti, e siamo sfavorevolmente situati per vederlo altrimenti che alla spicciolata, non possiamo farci un' idea generale se non coi lenti e progressivi sforzi della ragione. Epperò la contemplazione dei pianeti che circondano Giove grandemente aiutò ad assicurare l' ammessione del sistema di Copernico.

196. Dei « *casi di croce* » abbiamo pure di già parlato, come di quelli che offrono i più pronti e più sicuri mezzi di eliminare cause estranee e di decidere fra ipotesi rivali. A motivo della disposizione della mente a formare ipotesi ed a pregiudicare i casi, egli accade costantemente che, fra tutte le possibili supposizioni che possono occorrere, due o tre delle principali ci occupano ad esclusione delle rimanenti: o forse, se siamo stati meno precipitosi, di una gran moltitudine di rigettate per ovvia inapplicabilità ad un caso o ad un altro, due o tre di maggiore entità rimangono a decidersi, e questo siamo per siffatti *casi* in istato di fare. Uno degli esempi citati da Bacone ad illustrazione della sua classe di *casi di croce* è assai notevole, consistendo nè più nè meno che nella proposizione di uno sperimento diretto per determinare

se la tendenza dei gravi all'ingiù sia il risultamento di qualche meccanismo particolare dei corpi stessi, o dell'attrazione della terra « per via della sua massa corporea come collezione di corpi della stessa natura». Se ciò è, dic'egli, « ne seguirà che più i corpi si avvicinano alla terra, più con amore e con maggior forza e velocità vi tenderanno; e più debolmente e più lentamente quanto più ne sono lontani »: e il suo sperimento consiste nel paragonare l'effetto di una molla e di un peso nel mantenere i movimenti di due orologi a ruote [clocks] regolati insieme, e alternamente collocati sulle cime di alti edifizi e nelle più profonde miniere. Per *clocks* egli non poteva intendere i pendoli che non erano allora conosciuti (non essendosene fatto il primo in Inghilterra se non nel 1662), ma dovette indicare i volanti (flyclocks), dimodochè il paragone, quantunque triviale, non era contrario ai sani principii meccanici. In somma il suo principio era il paragone dell'effetto di una molla con quello di un peso, nel produrre certi movimenti, in certi tempi, sulle alture e nelle miniere. E questa è appunto la stessa cosa che è stata realmente eseguita nelle recenti sperienze dei professori Airy e Whewell nella miniera di Dolcoath: un pendolo (cioè un peso mosso dalla gravità) è stato paragonato con un cronometro mosso e regolato da una molla. Nel 37.° aforismo, Bacone parla pure della gravità come di una potenza incorporea che opera da lontano e *richiede tempo per la sua trasmissione*: considerazione che occorse poscia a Laplace in una delle sue più dilicate investigazioni.

197. Un ben scelto e fortemente espresso esempio *di croce* è talvolta della massima importanza; quando due teorie che camminano parallelamente (come accade talora) nella loro spiegazione di una gran classe di fenomeni, finalmente vengono ad esser poste in contrasto su di un sol fatto. Un bell' esempio di questo sarà addotto nel seguente paragrafo. Agli esempi già riferiti di simili casi possiamo aggiungere quello dell' applicazione di prove chimiche, che sono quasi universalmente sperimenti *di croce.*

198. I «*casi migranti*» di Bacone sono quelli in cui la *natura* o la qualità che si va investigando «*migra*» o varia di grado; e così (secondo il § 152) indicano una causa per una gradazione d'intensità nell'effetto. Uno dei suoi esempi è felicissimo, ed è quello della « carta che è bianca quando è asciutta, diviene meno bianca quando è bagnata, e si avvicina maggiormente allo stato di trasparenza dopo l'esclusione dell'aria e l'ammessione dell'acqua ». Nel legger questo e molti altri esempi nel *Novum Organum,* si supporrebbe quasi che (se già fosse stata scritta) il suo autore gli avesse presi dall'Ottica di Newton.

199. Cotesti casi migranti, come pure quelli che Bacone chiama « *casi di limite* », sono casi ne' quali siamo in grado di seguir le tracce della legge generale che sembra sparsa per tutta la natura — legge, così chiamata, di continuità, espressa colla nota sentenza « *Natura non agit per saltum* ». Il rintracciamento di questa legge in casi ne' quali la sua applicazione non è ovvia a primo tratto, è stata una feconda sorgente di scoperte fisiche, e ci ha condotti alla conoscenza di

un' analogia e di una connessione intima di fenomeni, tra i quali da principio non ci saremmo aspettato di trovarne alcuna.

200. La trasparenza della foglia d' oro, per esempio, la quale permette ad una luce verde-turchina di passarvi a traverso, è un caso di limite fra la trasparenza dei corpi pellucidi e l' opacità dei metalli, ed impedisce un' interruzione della legge di continuità fra i corpi trasparenti e gli opachi, coll' offrire un corpo della classe generalmente riguardata per la più opaca nella natura, come possedente un qualche lieve grado di trasparenza. Esso prova pertanto che l' opacità non è già una qualità *contraria* o un' *antagonista* di quella della trasparenza, ma ne è soltanto l' estremo ed infimo grado.

CAPITOLO VII

Dei gradi superiori di generalizzazione induttiva, e della formazione e verificazione delle teorie.

201. Nello stesso modo che le induzioni particolari e le leggi del primo grado di generalità sono ricavate dalla considerazione di fatti individuali, le teorie risultano dalla considerazione di queste leggi e delle cause prossime scoperte nell' operazione previa, riguardate tutte insieme come costituenti una nuova serie di fenomeni, più creature della ragione che del

senso, e ciascuna rappresentante sotto un linguaggio generale un numero immenso di fatti particolari. Nel trarre adunque queste più alte induzioni, un più vasto campo è aperto all'esercizio della pura ragione, che nel lento brancolare in cerca dei nostri primi risultamenti. La mente è più sgombra dalla materia e si muove, per così dire, nel suo elemento. Ciò che ora le è posto dinanzi, lo vede più intimamente e meno per mezzo dei sensi, o almeno non lo vede nello stesso modo come quando attualmente lavorava sugli oggetti immediati del senso. Ma non si debbe credere per questo che nella formazione di teorie siamo abbandonati allo sfrenato esercizio dell'immaginazione, o liberi di stabilire principii arbitrari o di supporre l'esistenza di mere cause imaginarie. La libertà di specolazione che possediamo nei dominii della teoria non è come la sbrigliata licenza dello schiavo che ha deposte le catene, ma piuttosto come quella dell' uomo libero che ha imparato a comandare a se stesso nella scuola di una giusta subordinazione. Gli oggetti finali che rintracciamo nelle più sublimi teorie sono gli stessi che quelli delle più basse induzioni; e i mezzi per cui ci è dato con maggior certezza di arrivarvi hanno una stretta analogia con quelli che abbiamo impiegato con felice successo nei casi inferiori.

202. L'oggetto immediato che ci proponiamo nelle teorie fisiche è l'analisi di fenomeni, e la conoscenza delle segrete operazioni della natura nel produrli, per quanto esser possono da noi rintracciate. Una porzione importante di questa conoscenza consiste nella scoperta dell'attuale struttura o meccanismo dell' uni-

verso e delle sue parti, per cui e da cui queste operazioni sono eseguite; e in quella degli agenti che in esse sono impiegati. Ma il meccanismo della natura è per la maggior parte di una proporzione o troppo vasta o troppo piccola, perchè sia immediatamente conoscibile per mezzo dei nostri sensi; ed i suoi agenti sfuggono parimente un' osservazione diretta, e ci si fanno conoscere soltanto dai loro effetti. Indarno adunque bramiamo di essere testimoni delle operazioni eseguite con questi mezzi, e di essere ammessi nei segreti penetrali e nelle officine in cui sono mandate ad effetto. Si sono costrutti microscopii che ingrandiscono più di mille volte in dimensione *lineare*, di modo che il più picciolo granellino visibile di sabbia può essere ingrossato all'apparenza di uno che sia mille milioni di volte più voluminoso; tuttavia la sola impressione che riceviamo nel vederlo attraverso un tanto magnificatore si è questa che ci richiama alla mente qualche vasto frammento di rupe, mentre la struttura intima, da cui dipendono il suo colore, la sua durezza e le sue proprietà chimiche, se ne rimane tuttavia nascosta; cosicchè non pare nemmeno che con un simile scrutinio ci siamo menomamente avvicinati ad una più stretta analisi.

203. Da un altro lato, il meccanismo del gran sistema di cui il nostro pianeta fa parte, sfugge ad un'immediata osservazione per l'immensità delle sue proporzioni, e per la lentezza delle sue evoluzioni medesime. Il movimento dell'indice dei minuti in un oriuolo si può appena scorgere da chi vi faccia una particolar attenzione, e quello dell'indice delle ore non

è visibile. Ma che cosa sono questi esempi in quanto all'idea di lentezza che producono nelle nostre menti, quando sono paragonati con un movimento di rotazione che impiega un anno intero, o dodici, o trenta od ottanta anni per compiersi, come accade pei pianeti nelle loro rivoluzioni intorno al sole? Tuttavia non sì tosto veniamo a riflettere sulle dimensioni lineari di questi orbi (che pure *non vediamo*, nè possiamo misurare se non con un'operazione lunga, indiretta e difficile) siamo colpiti d'ammirazione dalla rapidità di quegli stessi movimenti che prima sembravano così tardi (1). Il movimento degli aspi dei mulini a vento ne offre un'illustrazione in miniatura. Da lontano la rotazione sembra lenta e costante, ma quando stiamo vicini ad uno degli aspi, siamo sorpresi della rapidità con cui nel girare ci passa d'accanto.

204. Gli agenti impiegati dalla natura per agire sulle strutture materiali sono invisibili e non possono essere riconosciuti se non dagli effetti che producono. Il calorico dilata la materia con una forza irresistibile; ma che cosa *sia* il calorico egli è tuttora un problema. Una corrente di elettricità che passa lungo un filo metallico muove un ago magnetizzato ad una

(1) « Quando ci si dice che Saturno si muove nella sua orbita colla velocità di più di 22,000 miglia in un'ora, noi c'imaginiamo che il movimento è rapido; ma quando troviamo che impiega più di tre ore a percorrere la lunghezza del suo proprio diametro, noi dobbiamo allora stimarlo lento come è veramente ». Trenta lettere su vari soggetti di Guglielmo Jackson, 1795.

distanza; ma tolto questo effetto, non vediamo differenza tra la condizione del filo quando conduce e quando non conduce la *corrente;* e noi applichiamo questo vocabolo all'elettricità, non per altra ragione se non perchè in alcuna delle sue relazioni ci rammenta di qualche cosa che abbiamo osservato nelle correnti dell'aria o dell'acqua. Parimente vediamo che la luna gira intorno alla terra; e perchè la crediamo essere una massa solida, e non abbiamo mai veduta alcuna sostanza solida rivolgersi intorno ad un'altra che sia in nostro potere di toccare e di esaminare, salvo sia trattenuta da una forza o unita da un vincolo, noi conchiudiamo che vi *esiste* una forza ed un modo di connessione fra la luna e la terra; quantunque non concepiamo quale possa essere questo modo, nè possiamo imaginarci *come* una tal forza possa essere esercitata da lontano a traverso di uno spazio voto, o al più, d'un fluido invisibile (V. § 148).

205. Ciò non pertanto non dobbiamo disperare, poichè veggiamo regolari e bei risultamenti ottenuti nelle opere umane, con mezzi che nessuno, a primo aspetto, crederebbe poter aver che fare con essi. Un foglio di carta bianca è posto su di una forma e spinto innanzi, e dopo di aver girato successivamente sotto e sopra una mezza dozzina di cilindri, e fatte molte altre strane evoluzioni, vien fuori stampato dalle due parti. E la causa attrice in quest'operazione non è altra infine che poca acqua riscaldata in una caldaia di ferro, lontano dal luogo in cui si eseguisce. Ma *perchè* l'acqua così riscaldata divenga capace di produrre l'energia attiva che mette in moto tutto l'apparecchio

è cosa che rimane e rimarrà probabilmente lunga pezza un segreto per noi.

206. Questo non impedisce tuttavia menomamente che abbiamo una perfettissima idea di tutta l'operazione susseguente. Noi potremmo frequentare stamperie e formarci una teoria della stampa, ed essendo risaliti sino al punto in cui l'azione meccanica ha cominciato (la caldaia della macchina a vapore) e, verificandola col ridurre ne' suoi pezzi e rimettere insieme tutta la serie di ruote e di ordigni, e con un esame teorico di tutti i modi di trasferire il movimento da una parte all'altra, pronunzieremmo finalmente buona la nostra teoria, dichiarando d'intendere perfettamente la stampa. Anzi potremmo pure uscire di là ed applicare i principii del meccanismo imparato in questa investigazione ad altri oggetti al tutto diversi, costruire altre macchine e metterle in moto con la stessa potenza motrice, e tutto questo senza giungere ad alcuna idea esatta intorno alla sorgente finale della forza impiegata. Ma se fossimo inclinati a teorizzare più oltre, lo potremmo; ed è facile l'imaginarsi come due teorici potrebbero fare *ipotesi* assai diverse sull'origine della potenza che alternativamente alza ed abbassa lo stantuffo della macchina. Uno, per esempio, potrebbe affermare che la caldaia (il cui contenuto, supporremo, che nessuno dei due abbia potuto esaminare) è la tana di qualche potente animale sconosciuto, e non mancherebbe di plausibili analogie nel calore, nell'alimento e nell'acqua, nel romore del soffio, nel fumo, e soprattutto nella potenza meccanica esercitata. Egli direbbe (non senza

un' apparenza di ragione), che dove si vede un effetto positivo e maraviglioso, e molte forti analogie, siccome i materiali consumati e tutti i soliti segni di vita mantenuti, non dobbiamo negare l' esistenza della vita animale, perchè non conosciamo alcun animale che si pasca di un simile alimento. Anzi potrebbe osservare con verità che questo attualmente consta d'ingredienti chimici che costituiscono il cibo principale di tutti gli animali ecc., mentre da un' altra parte il suo confratello teorico, il quale avesse veduto un barlume di fuoco, e scoperto i suoni peculiari della ebullizione, potrebbe acquistare una miglior idea della cosa, e formare una teoria più consona col fatto.

207. Ora nulla è più comune in fisica che il vedere due od anche più *teorie* mantenute intorno all'origine di un fenomeno naturale. Nel caso del calorico stesso, per esempio, uno lo considera come un fluido materiale realmente esistente, di una tale estrema sottigliezza da poter penetrare in tutti i corpi ed anche da esser capace di combinarsi con essi chimicamente: mentre un altro lo tiene per un semplice movimento rapido, vibratorio o rotatorio, nelle particelle ultime dei corpi riscaldati; e produce una concatenazione di raziocinio meccanico singolarmente ingegnoso per dimostrare che in questa dottrina non vi ha nulla di contradditorio ai sani principii dinamici. Lo stesso accade della luce: uno la considera come consistente in particelle attuali dardeggiate da corpi luminosi, e nel progresso loro sottoposte all' azione di forze di un'estrema intensità, residenti nelle sostanze che vengono a colpire; un altro la fa dipendere dal movi-

mento vibratorio delle particelle di corpi luminosi comunicate ad un *mezzo* etereo peculiarmente sottile ed altamente elastico, che riempie tutto lo spazio, e portate per suo mezzo ai nostri occhi, come i suoni alle orecchie, per mezzo delle ondulazioni dell' aria.

208. Dobbiamo noi dunque essere scoraggiati dal far ipotesi e costruire teorie, perchè incontriamo di questi dilemmi e ci troviamo frequentemente aver superato i limiti delle nostre forze? No certamente. *Est quodam prodire tenus, si non datur ultra.* Le ipotesi, per rispetto alle teorie, sono quello che le presunte cause prossime sono per rispetto alle induzioni particolari; ci danno motivi per iscrutare le analogie, e ragioni di chiamare dinanzi a noi tutti i casi che vi possono aver relazione, per essere esaminati. Un'ipotesi bene imaginata, se sarà stata suggerita da una giusta considerazione induttiva di leggi generali, ci metterà almeno in grado di andare un passo più in là, generalizzando, e di riunire insieme parecchie di queste leggi sotto un' espressione più universale. Ma questo è un farsi un' idea assai limitata del pregio e dell' importanza delle ipotesi; può accadere (ed è accaduto nel caso della dottrina ondulatoria della luce) che un tale peso di analogia e di probabilità si accumuli da un lato di un' ipotesi che siamo costretti di ammettere una di due cose, o ch' essa è l' espressione attuale di ciò che realmente passa nella natura, o che la realtà, qualunque essa sia, debbe trovarsi su di una paralella a lei così vicina da ammettere qualche modo di espressione comune ad entrambe, almeno in quanto interessa i fenomeni attualmente conosciuti.

Ma questo è un grandissimo passo, non solamente per se stesso siccome conducente ad un punto più elevato nella specolazione filosofica, ma per le sue applicazioni; poichè tutte le conclusioni che dedurremo da una ipotesi di questa fatta, avranno almeno una forte presunzione in loro favore; e potremo così essere indotti a fare molti curiosi sperimenti, e ad imaginare molte cose utili ed importanti, cui non avremmo altrimenti mai pensato, e che in ogni caso *se* saranno verificate in pratica, diverranno vere addizioni al nostro capitale di sapere ed alle arti della vita.

209. Nel formare una teoria che dia un'idea razionale di un fenomeno della natura, dobbiamo *prima di tutto* considerare gli agenti dai quali dipende, o le cause cui pensiamo che si possa ultimamente riferire. Questi agenti non sono da assumersi arbitrariamente; essi debbono essere tali che vi siano buone ragioni induttive di crederli esistenti in natura, ed aventi una parte in fenomeni analoghi a quelli che intendiamo di spiegare; ovvero tali da potersene con segni non equivoci dimostrare la presenza nel caso attuale. Insomma hanno da essere *verae causae*, le quali non solamente possiamo dimostrare che esistono ed agiscono, ma le cui leggi d'azione possiamo derivare indipendentemente, per induzione diretta, da sperimenti espressamente intrapresi; o per riguardo alle quali possiamo almeno fare tali supposizioni che non siano contrarie alla nostra sperienza, e che saranno da verificarsi dalla coincidenza delle conclusioni che ne dedurremo, coi fatti. Per esempio, nella teoria della gravitazione noi supponiamo un agente, — cioè la

forza o la potenza meccanica, — che operi su di un corpo materiale *qualunque* posto in presenza di *qualunque* altro, e che li spinga vicendevolmente l' uno verso dell' altro. Questa è una *vera causa*, poichè i gravi (cioè tutti i corpi, quali più, quali meno) tendono alla terra o tentano di arrivarvi, e richieggono l' uso della forza per frenare questa tendenza o per tenerli sospesi. Ora ciò che si oppone alla forza e la neutralizza *è* la forza. Ed un piombino che quando si lascia liberamente sospeso pende sempre perpendicolarmente, si trova pendere evidentemente da un lato della perpendicolare quando v'ha nelle vicinanze una montagna considerevole; provando con ciò ch'esso va soggetto ad una forza che lo tragge verso la montagna. Inoltre, poichè egli è un fatto che la luna gira intorno alla terra, essa debb' esser tratta da una forza verso di questa; giacchè se non vi fosse una forza che agisse sopra di lei, essa procederebbe in una linea retta senza volgersi da una parte per circolare in un' orbita, e perciò presto sparirebbe e sarebbe perduta nello spazio. Questa forza adunque che noi chiamiamo *forza di gravità*, è una causa reale.

210. S' hanno quindi a considerare le leggi che regolano l' azione di questi nostri agenti primari; ed a queste possiamo solamente giungere in tre maniere: 1° col raziocinio induttivo; cioè esaminando tutti i casi nei quali sappiamo che sono esercitate, argomentandone, per quanto le circostanze lo permetteranno, l' ammontare o l' intensità in ogni caso particolare, e poscia radunando insieme, per così dire, queste *disiecta membra*, generalizzando da esse, e così perve-

nendo sino alle leggi desiderate; 2° col formare a un tratto un'ardita ipotesi, particolareggiando la legge, e mettendone la verità alla prova col seguirne le conseguenze, e paragonandole coi fatti; o 3° con un'operazione partecipante di entrambe, e che combini i vantaggi di tutte e due senza i loro difetti, cioè assumendo bensì le leggi che vogliamo scoprire, ma così generalmente espresse da inchiudere una verità illimitata di leggi particolari; — seguitando le conseguenze di questa supposizione, con l'applicazione di quei principii generali che il caso ammette; — paragonandole successivamente con tutti i casi particolari venuti a nostra cognizione; e finalmente, *su questo paragone*, modificando e ristringendo l'enunziazione generale delle nostre leggi in modo da *far concordare i risultamenti*.

211. Tutti questi tre metodi tendenti alla scoperta di quelle leggi generali elementari sulle quali le maggiori teorie sono fondate, sono applicabili con diversi vantaggi in diverse circostanze. Potremmo illustrare la loro successiva applicazione col caso della gravitazione; ma siccome questo menerebbe ad una disquisizione troppo particolare per gli oggetti di questo discorso, e ci porterebbe tropp'oltre nelle matematiche tecniche, ci contenteremo di osservare, che l'ultimo metodo che si è menzionato è quello che i matematici (specialmente quelli che posseggono bene quei modi generali di rappresentare le quantità e di ragionarvi sopra, che costituiscono l'analisi più sublime) trovano essere più generalmente applicabile e più efficace; e ch'esso si applica con ispeziale van-

taggio nei casi nei quali le induzioni subordinate, descritte nel precedente paragrafo, hanno già condotto a leggi di una certa generalità ammettenti un'espressione matematica. Un caso di questa natura sarebbe, per esempio, il movimento elittico di un pianeta, che è una proposizione generale inchiudente l'espressione di un numero infinito di *luoghi* particolari, nei quali le leggi del suo movimento richieggono che una volta o l'altra si trovi, e per cui, necessariamente, la legge di forza vuol essere assunta in modo da renderne ragione.

212. Quanto al primo dei tre sopra mentovati metodi, esso è in fatto un'induzione del genere descritto nel § 185; e tutte le osservazioni che colà abbiamo fatte su quel genere d'induzione, se gli applicano ancora di presente. La partenza diretta da una particolare ipotesi è stata talvolta con felice successo praticata. Possiamo citare per esempi le teorie dell'elettricità e del magnetismo di Coulomb e Poisson, nelle quali, fenomeni di una natura assai complicata ed importante sono riferiti alle azioni delle forze attrattiva e repulsiva, seguenti una legge simile nella sua espressione alla legge della gravitazione. Ma la difficoltà e la fatica che nelle più grandi teorie sempre accompagnano il rintracciamento di una legge fondamentale nelle sue remote conseguenze, impediscono efficacemente che si ricorra in casi ordinari a questo metodo come a mezzo di scoperta, salvo che per analogia o altrimenti abbiamo qualche buona ragione di credere che il tentativo sarà felice, o siamo già stati condotti da induzioni parziali a leggi partico-

lari che naturalmente lo indichino come soggetto di prova.

213. In questo caso la legge assume tutti i caratteri di un fenomeno generale risultante da una induzione di fatti particolari, ma non ancora verificato da un paragone con *tutti* cotesti particolari, nè esteso a tutto ciò che è capace d'inchiudere (§ 171). Ella è la verificazione di queste induzioni che costituisce la teoria nel suo più ampio senso, e che abbraccia un'estimazione dell'influenza di tutte quelle circostanze che possono modificare l'effetto delle cause alle cui leggi d'azione siamo giunti e che vorremmo verificare. Tornando al nostro esempio: induzioni particolari tratte dai movimenti dei vari pianeti intorno al sole, e dei satelliti intorno ai loro primari ecc., avendoci condotti al concepimento generale di una forza attrattiva esercitata da ciascuna particella di materia nell'universo sopra tutte le altre, secondo la legge cui diamo il nome di gravitazione; quando vorremo verificare quest'induzione, dovremo partire dal supporre questa legge come vera, considerando tutto il sistema come soggetto alla sua influenza ed implicitamente ad essa obbediente, con nulla che ne impedisca l'azione; allora per la prima volta noi vediamo una concatenazione di cause modificanti che non ci si erano presentate quando ragionavamo dai particolari all'insù per ottenere la legge fondamentale; noi vediamo *che tutti i pianeti* debbono attirarsi *l'un l'altro*, e debbono perciò trarsi vicendevolmente fuori delle orbite che avrebbero se fossero solamente attratti dal sole: e siccome questo non fu mai contemplato nell'opera-

zione induttiva, la sua validità diviene una questione che potrà essere soltanto determinata coll'accertare precisamente quanta deviazione questa nuova classe di azioni mutue sarà per produrre. Il far questo non è cosa facile, anzi è la cosa più difficile che il genio dell'uomo abbia sin qui eseguita: tuttavia *è stata* eseguita con la semplice applicazione delle leggi generali della dinamica; e il risultato (indubitatamente bellissimo e soddisfacente nel massimo grado) è che tutte quelle deviazioni osservate nei movimenti del nostro sistema, che si riguardavano come eccezioni (§ 154) od erano notate quai fenomeni-residui e riservate per ulteriori investigazioni (§ 158), in quell'imperfetta idea del soggetto che acquistammo nell'operazione subordinata, per cui ci siamo innalzati alla nostra conclusione generale, sono chiarite essere conseguenze immediate delle mutue azioni suddette. Come tali, non sono nè eccezioni nè fatti residui, ma compimenti di regole generali e circostanze essenziali nell'enunciazione del caso, *senza* delle quali la nostra induzione sarebbe invalida e la legge di gravitazione positivamente falsa.

214. Nella teoria della gravitazione, la legge è tutta in tutto, applicandosi a un tempo ai materiali e direttamente producendo il risultato. Ma in molti altri casi dobbiamo considerare non solamente le leggi che regolano le azioni delle nostre cause finali, ma un sistema di meccanismo, o struttura di parti, per l'intervento delle quali i loro effetti ci divengono sensibili. Così nella dilicata e curiosa teoria elettro-dinamica di Ampère, l'attrazione e la ripulsione mutua

di due magneti è riferita ad un fenomeno più universale, cioè all'azione mutua delle correnti elettriche, secondo una certa legge fondamentale. Ma per inchiudere il caso di una magnete dentro i limiti di questa legge, egli è obbligato di fare una supposizione di una struttura o di un meccanismo peculiare che costituisce un corpo magnete, cioè, che intorno a ciascuna particella del corpo vada sempre circolando, in una certa direzione indicata, una piccola corrente di fluido elettrico.

215. Si dirà che questo è troppo complesso: che è artificiale e non può essere conceduto: ma se l'ammessione di questa, o di qualunque altra struttura dieci volte più artifiziale e complicata, farà che altri possa presentare in un punto di vista generale un gran numero di fatti particolari, — farli parte di un sistema, e porci in grado di ragionare dal cognito allo incognito, ed attualmente *predir fatti prima dello sperimento*, — noi domanderemo perchè *non dovrà* esser concessa? Quando esaminiamo quei saggi dell'opera della natura che possiamo ridurre a pezzi ed intendere, noi li troviamo al più alto grado artifiziali nel pretto senso della parola. Prendasi, per esempio, la struttura di un occhio, o dello scheletro di un animale, — che complessità e che artifizio! Nell'uno un *muscolo pellucido;* una lente formata con superficie elittiche; un'apertura circolare capace di aggrandimento o di contrazione senza perdita di forma. Nell'altro un'ossatura di curiosissimo congegnamento, in cui non occorre una sola linea retta, nè alcuna curva geometrica conosciuta, e tuttavia ogni cosa

evidentemente sistematica e costrutta con regole che sfidano le nostre indagini. Oppure si esamini un minerale cristallizzato, che possiamo sino a un certo punto dissecare, e così ottenere una cognizione diretta di una struttura interna. Qui non mancano nè artifizio, nè complicazione; e quantuque è facile il dire che queste apparenze sono infine prodotte da qualche cosa che sarebbe semplicissima purchè la conoscessimo, egli è evidente che lo stesso potrebbe *dirsi* di una macchina a vapore la quale eseguisca i movimenti più complicati, prima che si sia fatta alcuna investigazione della sua natura, o si abbia conoscenza alcuna della sorgente del suo potere.

216. Tuttavia nell'estimare il pregio di una teoria, non dobbiamo riguardare, *da principio*, alla questione s'essa stabilisca o no in modo soddisfacente un processo o un meccanismo particolare; poichè di questo, in ogni caso, non possiamo mai ottenere se non quella prova indiretta che consiste nel suo menare agli stessi risultamenti. Ciò che nel presente stato della scienza è assai più importante per noi di sapere, è se la nostra teoria rappresenti veramente *tutti* i fatti e inchiuda *tutte* le leggi cui menano l'induzione e l'osservazione. Una teoria che facesse questo darebbe senza dubbio largo campo a stabilire qualunque ipotesi di meccanismo o di struttura che ne potesse far una parte essenziale; ma ciò è assai lungi dall'accadere, fuorchè in pochi casi limitati; e finchè non accade, il dar troppa importanza ad ipotesi di questo genere, salvo in quanto servono come di ponte per l'erezione di leggi generali, egli è lo stesso che « prendere il ponte

per l'edifizio ». Riguardate da questo lato, le ipotesi sono spesso di un uso eminente, ed una facilità a crearle, se è accompagnata da una facilità eguale ad abbandonarle quando hanno prestato l'opera loro, è una delle più belle qualità che un filosofo possa possedere; mentre da un altro canto un pregiudicato attaccamento tanto ad esse, quanto ad opinioni peculiari d'ogni genere, opposte al tenore dei fatti quali si mostrano, è la peste d'ogni filosofia.

217. Non v'ha dubbio tuttavia che il metodo più sicuro, quando può essere seguito, è di sollevarsi per mezzo d'induzioni proseguite fra le leggi, come fra i fatti, di legge in legge, osservando, mentre procediamo, come quelle leggi che abbiamo riguardate quali sconnesse divengano casi particolari l'una dell'altra, o tutte di una più generale ancora, e finalmente cadano intieramente in quel punto di vista dal quale impariamo a riguardarle. Un esempio illustrerà il nostro intendimento. È una legge generale che tutti i corpi caldi mandano fuori o *radiano* calorico in tutte le direzioni (con la qual cosa non intendiamo di dire che il calorico sia una sostanza attuale che spicchi dai corpi caldi, ma solamente che le leggi della trasmissione del calorico ad oggetti lontani sono somiglianti a quelle che regolerebbero la distribuzione di particelle lanciate in ogni direzione), e che altri corpi freddi posti vicini a quelli divengono caldi, *come se* ricevessero il calorico radiato a quel modo. Inoltre tutti i corpi solidi che divengono caldi in una parte, *conducono* o diffondono il calorico da quella parte in tutta la loro sostanza. Qui abbiamo due modi di co-

municare il calorico, — per radiazione e per conduzione, che hanno entrambi le loro peculiari e probabilmente diversissime leggi. Avviciniamo adesso un corpo caldo ed un altro freddo (della medesima sostanza), si che per gradi sempre più si vadano accostando; — mentre si avvicinano, il calorico sarà comunicato dal caldo al freddo per le *leggi della radiazione;* e dalla parte più vicina alla più lontana del freddo, mentre gradatamente si riscalda, per *quelle della conduzione.* Si diminuisca la loro distanza finchè leggermente si tocchino. Come passerà *ora* il calorico dall'uno all'altro? senza dubbio per radiazione; perocchè si può provare che in questo contatto v'ha ancora un intervallo. Siano poscia spinti a forza l' uno contro l'altro, e parrà chiaro che adesso la trasmissione seguirà per *conduzione.* Ma il loro *intervallo* debbe gradatamente diminuire in proporzione che s' aumenta la forza da cui sono premuti insieme, finchè veramente diventano coerenti e formano un sol corpo. La legge di continuità di cui abbiamo già parlato (§ 199), ci proibisce di supporre che la natura intima dell'operazione di comunicazione sia cangiata in questo passaggio da un leggero ad un violento contatto, e da questo ad una vera unione. Se ciò fosse, potremmo domandare a qual punto segua il cambiamento? tanto più che si può anche dimostrare che le particelle del corpo più solido non sono realmente in contatto. *Dunque* le leggi di conduzione e di radiazione sono mutuamente dipendenti, e quelle sono solamente casi estremi di queste. Pertanto, se vogliamo intendere giustamente quel che passa, o quale sia

l'operazione della natura nella lenta comunicazione del calorico a traverso la sostanza di un solido, dobbiamo fondare le nostre ricerche su ciò che accade da lontano, e poscia spingere le leggi cui siamo arrivati, sino ai loro casi estremi.

218. Quando due teorie camminano paralellamente l'una all'altra, e ciascuna di esse spiega un gran numero di fatti in comune coll'altra, qualunque sperimento presenti un caso detto *di croce* per decidere fra loro, o per cui l'una o l'altra ha da cadere, è di grande importanza. Nel verificare così le teorie, poichè le sono fondate su leggi generali, possiamo invocare non solamente casi particolari, ma classi intere di fatti; epperò abbiamo un largo campo fra gl' individui di queste per la scelta di qualche effetto particolare che dovrebbe aver luogo oppositamente nel caso che una delle due supposizioni da verificarsi fosse giusta e l'altra falsa. Un curioso esempio vien dato dal signor Fresnel, come decisivo nella sua mente, della questione fra le due grandi opinioni sulla natura della luce che, dal tempo di Newton e di Huyghens, hanno diviso i filosofi (Vedi § 207). Quando due vetri nettissimi sono posti l'uno sopra dell'altro, se non sono perfettamente piani, ma l'uno o entrambi sono convessi o prominenti in un grado quasi impercettibile, si vedranno tra loro di bei colori vivaci; e se questi saranno visti a traverso un vetro rosso, la loro apparenza sarà quella di alterne zone oscure e lucide. Le zone si formano *fra* le due superficie in contatto apparente, siccome è facile il persuadersene adoperando per vetro superiore (invece di una *lastra* piana),

un vetro di forma triangolare chiamato prisma, simile ad un bastone da tre costole, e guardando dal lato suo inclinato più vicino all'occhio, per cui la luce riflessa dalla superficie superiore non si può mescolare con quella che proviene dalle facce in contatto. Queste zone colorate così prodotte possono spiegarsi secondo le due teorie, e sono invocate dall'una e dall'altra come fatti fortemente confermanti; ma vi è una differenza in una circostanza secondo che l'una o l'altra teoria è impiegata a spiegarli. Nel caso della dottrina Huygheniana, gl'intervalli fra le zone chiare dovrebbero comparire assolutamente *neri;* nell'altro *mezzo lucidi*, quando sono guardati a traverso un prisma. Questo caso curioso di differenza fu provato tosto che le opposte conseguenze delle due teorie furono notate dal signor Fresnel, e il risultamento è dichiarato da lui decisivo in favore di quella teoria che fa consistere la luce nelle vibrazioni di un *mezzo* elastico.

219. La considerazione delle leggi generali fa giungere più prontamente alle teorie; ma esse sono più sicuramente verificate col paragonarle con fatti particolari, perchè questo serve di verificazione di tutta la serie d'induzioni, dal più basso al più alto termine. Ma questo paragone vuol farsi con fatti espressamente scelti, in modo da inchiudere ogni varietà di casi, non ommettendo gli estremi, e in numero sufficiente da offrire una sola ragionevole probabilità di scoprire l'errore. Una coincidenza numerica in una conclusione finale, per maravigliosa che sia la coincidenza, o importante il soggetto, non è sufficiente.

La teoria del suono di Newton, per esempio, conduce ad un'espressione numerica per la velocità attuale del suono, di poco diversa da quella data dalla teoria corretta poscia spiegata da Lagrangia, e (se si fa astrazione di certe considerazioni da lui non contemplate) concordante col fatto; tuttavia questa coincidenza non è una verificazione del modo di vedere di Newton intorno al soggetto generale del suono, che è difettivo in un punto essenziale, siccome il gran geometra che abbiamo nominato ha provato in una maniera al tutto soddisfacente. Questo esempio basta per inspirare cautela nell'appoggiare la verificazione di teorie sopra tutt'altro che un paragone assai esteso con una gran massa di fatti osservati.

220. Ma per altra parte quando una teoria sopporta la prova di un paragone così esteso, poco importa come sia stata originariamente formata. Per istrani e, a primo tratto, inammessibili che possano apparire i suoi postulati, o per singolare che sembri la scelta di essi, — purchè ci conducano, con legittimi raziocini, a conclusioni esattamente concordi con numerose osservazioni fatte a bella posta in una tale varietà di circostanze da abbracciare tutta la serie dei fenomeni che la teoria intende di spiegare, non possiamo ricusare di ammetterli; o se esitiamo ancora a tenerli per verità dimostrate, non possiamo almeno negare di riceverli come sostituti temporari di quelle verità finch'esse non siano conosciute. Se bastano per spiegare tutti i fenomeni conosciuti, sarà assai improbabile che non ne spieghino degli altri; e se tutte le loro conclusioni che abbiamo provate apparvero corrette,

è probabile che altre, non provate ancora, saranno pure trovate tali; cosicchè nel rigettarli intieramente noi rigetteremmo tutte le scoperte alle quali possono condurre.

221. In tutte le teorie che professano di spiegare le operazioni della natura nella produzione di una classe di fenomeni, col riferirle a leggi generali, od all'azione di cause anch'esse generali, per una serie di circostanze modificanti; prima che possiamo applicare queste leggi o rintracciare l'azione di queste cause in un caso proposto, si richiede che le circostanze siano conosciute; si debbono aver dati per fondarvi la loro applicazione. Ma questo non si può imparare se non coll'osservazione; e potrà parere che uno si aggiri in un circolo vizioso ricorrendo all'osservazione per una parte qualunque di quelle conclusioni teoretiche, dal paragone delle quali col fatto la teoria stessa ha da essere provata. La considerazione di un esempio ci farà vincere questa difficoltà. La legge più generale che si sia scoperta in chimica è questa, che tutte le sostanze elementari della natura non possono entrare in combinazione tra sè se non in proporzioni determinate o *definite* dal peso, e non arbitrariamente; di modo che quando due sostanze sono poste insieme coll'intenzione di unirle, se i loro pesi non sono in certe determinate proporzioni, una combinazione compiuta non può seguire, ma qualche parte dell'uno o dell'altro ingrediente sopravanzerà non combinata. Supponiamo ora che abbiamo una sostanza avente tutti i caratteri esteriori di un corpo omogeneo o non misto, ma che, analizzandola, tro-

viamo consistere di zolfo e di piombo nella proporzione di 20 parti del primo e di 130 del secondo ingrediente; e che vogliamo conoscere se questo caso debba riguardarsi come una verificazione della legge delle proporzioni definite, ovvero come un'eccezione: la questione si riduce a questo, — se la proporzione di 20 a 130 sia o no *quella* proporzione fissa e definita (od una di esse se vi saranno più proporzioni possibili), nella quale, secondo la legge di cui si tratta, lo zolfo ed il piombo si possono combinare; cosa che non si potrà mai decidere col solo guardare alla legge in tutta la sua generalità. Egli è chiaro che quando sarà particolarizzata, restringendo la sua espressione allo zolfo ed al piombo, la legge dovrà enunciare *quali siano* quelle particolari proporzioni determinate nelle quali questi corpi si possono combinare. Vale a dire, ci debbono essere certi dati o numeri, dai quali essi sono distinti dagli altri corpi della natura, e che richieggono di essere conosciuti prima che possiamo applicare la legge generale al caso particolare. Per determinare questi dati si vuole aver ricorso all'osservazione; e se dovessimo rivolgerci a quella della combinazione delle due sostanze medesime l'una coll'altra, senza dubbio ci sarebbe luogo all'obbiezione logica di un circolo vizioso: ma ciò non accade; la determinazione di questi dati numerici è ricavata da sperimenti espressamente fatti sopra una gran quantità di diverse combinazioni, fra le quali non occorre di necessità quella che si sta considerando; e tutte queste trovandosi, indipendentemente l'una dall'altra, d'accordo nel dare i medesimi risultati, vengono

perciò con sicurezza considerate come parte del sistema. Quindi la legge delle proporzioni definite, quando è applicata all'attuale stato della natura, richiede due diverse espressioni, l'una che annunzi la legge generale di combinazione, l'altra che particolareggi i numeri appropriati a diversi elementi che compongono i corpi naturali, ovvero i dati della natura. Fra i quali dati, se saranno disposti in una tavola, si troverà accanto all'elemento zolfo il numero 16, ed accanto al piombo il 104 (1); e siccome il 20 sta al 130 nell'esatta proporzione del 16 al 104, ne viene che la combinazione di cui si parla, presenta una verificazione soddisfacente della legge.

222. La grand' importanza di dati fisici di questa specie, e il vantaggio di averli ben determinati, sarà ovvia, se consideriamo che una tavola di essi unita con la legge generale offre i mezzi di determinare a un tratto l'esatta proporzione degl' ingredienti di tutti i composti naturali, solo che conosciamo il posto che occupano nel sistema. In chimica il numero di elementi riconosciuti è tra i cinquanta e i sessanta, e nuovi vi si aggiungono col progredire della scienza. Ora al momento che il numero corrispondente ad una nuova sostanza aggiunta alla tavola è determinato, noi abbiamo in fatto accertato tutte le proporzioni nelle quali può entrare in combinazioni con tutte le altre, dimodochè un accurato sperimento fatto col disegno di determinare questo numero, viene ad essere equivalente ad altrettanti diversi sperimenti quante

(1) Thomson, Elementi di chimica.

sono le combinazioni binarie, ternarie, od anche più complicate, capaci d'esistere, nelle quali la nuova sostanza può entrare come ingrediente.

223. Non si può mai abbastanza insistere sull' importanza di ottenere dati fisici esatti, poichè senza di essi le più elaborate teorie sono poco più che mere forme inapplicabili di parole. Astrattamente, sarebbe di poca conseguenza l'essere informato che il sole e i pianeti si attraggono vicendevolmente, con forze proporzionate alle loro masse, ed inversamente come i quadrati delle loro distanze: ma tostochè conosciamo i dati del nostro sistema, tostochè abbiamo un'accurata espressione (non monta in qual modo sia acquistata) delle distanze, delle masse e dei movimenti attuali dei vari corpi che lo compongono, non ci occorre altro perchè possiamo predire tutti i movimenti delle sue varie parti, e i cambiamenti che vi accadranno per migliaia d'anni avvenire, ed estendere eziandio il nostro sguardo nei tempi addietro, e trar fuori dal passato fenomeni che niuna osservazione ha notato, che nessuna storia ricorda, e che tuttavia è possibile che abbiano impresse tracce indelebili della loro esistenza nel loro influire sullo stato della natura nel nostro medesimo globo, e in quelli degli altri pianeti.

224. La prova poi che i nostri dati sono corretti, è connessa con la verificazione generale di tutta la teoria, della quale, quando sono finalmente ricevuti, formano parte: e lo stesso paragone coll' osservazione che ci fa giudicare della verità del principio astratto, fa che, nello stesso tempo, possiamo assicurarci se abbiamo determinato il valore dei nostri dati giusta

il vero stato della natura. Se ciò non fosse, diviene allora importante il vedere se i valori dati possono essere corretti, in modo da ridurre i risultamenti della teoria a concordare coi fatti. Così accade che più le teorie si avvicinano alla loro perfezione, si viene a richiedere una sempre più esatta determinazione di dati. Le deviazioni dai fatti osservati, che, in una prima od approssimativa verificazione, possono essere trascurate come leggerissime, divengono importanti quando si è giunto ad un alto grado di precisione. Una differenza fra i luoghi calcolati ed osservati di un pianeta, che sarebbe stata negletta da Keplero nella sua verificazione della legge del moto elittico, sarebbe adesso riguardata come fatale alla teoria della gravità, salvo che si potesse dimostrare esser nata da un'espressione erronea di alcuno dei dati numerici del nostro sistema.

225. Le osservazioni più appropriate ad una pronta ed esatta determinazione di dati fisici sono pertanto quelle che è più necessario di fare con esattezza e perseveranza. Quindi avviene che in molti casi il modo di farle merita la sollecitudine delle nazioni, e che osservatorii sieno eretti e mantenuti, spedizioni mandate a lontane regioni, con una spesa che, ad uno sguardo superficiale, sembrerebbe affatto sproporzionata al loro oggetto. Ma si può ragionevolmente domandare perchè la diretta assistenza prestata dai governi all'esecuzione di continuate serie di osservazioni adattate a questo fine speciale seguano ad essere, come per lo passato, quasi esclusivamente limitate all'astronomia.

226. I dati fisici che si vogliono impiegare come elementi di calcolo in estese teorie, richiedono di essere conosciuti con un molto maggior grado di esattezza che non possiede un'osservazione isolata, non solamente per la loro dignità ed importanza, siccome quelli che offrono i mezzi di rappresentare una moltitudine indefinita di fatti, ma perchè nella diversità di combinazioni che possono accadere, ovvero nei cambiamenti che le circostanze possono provare, occorreranno casi nei quali ogni menomo errore in uno dei lati può ingrandirsi enormemente nel risultato finale che si avrà a paragonare coll'osservazione. Così nel caso di un ecclisse del sole, quando la luna entra assai obbliquamente sul disco solare, un picciolissimo errore nel diametro sì del sole che della luna può produrne uno grande nel tempo in cui il principio dell'ecclisse sarà annunziato. Egli è da osservarsi che, fra tutte le altre, queste sono le congiunture in cui le osservazioni sono più preziose per la determinazione di dati; imperciocchè, per la stessa regola che un picciolo cangiamento nei dati ne produrrà, in simili casi, uno grande nella cosa che si vuole osservare; così *viceversa* qualunque errore moderato, commesso in un'osservazione intrapresa per accertarne il valore, non ne produrrà se non uno leggerissimo nel calcolo *inverso* per cui i dati vengono ad essere determinati per osservazione. Questo si applica ad ogni specie di dati fisici in ogni parte di scienza, e non è mai da dimenticarsi quando l'oggetto cui si tende è la determinazione di dati coll'ultimo grado di precisione.

227. Ma, si domanderà, come mai potremo noi as-

sicurarci coll'osservazione che i dati siano più precisi dell'osservazione medesima? Come mai determineremo il valore di ciò che non vediamo, con maggior certezza che quello delle quantità che attualmente vediamo e misuriamo? Egli è il numero delle osservazioni applicabili alla determinazione di dati che ci mette in grado di far questo. Qualunque errore si commetta in una sola determinazione, egli è grandemente improbabile che sia costantemente ripetuto nello stesso modo, cosicchè quando veniamo a prender la media di un gran numero di determinazioni (salvo ci sia qualche causa costante che faccia piegare più da una parte che dall'altra), non si può a meno di ottener finalmente una vicinissima approssimazione alla verità; ed anche supponendo una tendenza da una parte si verrà assai più presso al vero di quello che si possa aspettare da una sola osservazione, soggetta all'effetto della stessa tendenza.

228. Quest' utile e pregevole proprietà che ha la media di moltissime osservazioni, di portarci più vicino al vero che non si possa sperare da una sola osservazione, fa ch'essa sia il più costante ripiego in tutte le investigazioni fisiche nelle quali si desidera accuratezza. Ed è sorprendente il vedere che rapido effetto abbia una moderata moltiplicazione di osservazioni individuali nell'appianare gli ondeggiamenti e nel far scomparire le deviazioni. È difficile di trovare un miglior esempio che l'altezza media del mercurio nel barometro comune, che misura la pressione dell'aria, e le cui variazioni sono da tutti conosciute. Tuttavia, se l'osserviamo regolarmente ogni giorno,

e se alla fine di ciascun mese prendiamo la media delle altezze osservate, troveremo le variazioni diminuite in modo sorprendente nel loro ammontare; e se proseguiamo per tutto un anno, o per molti anni di seguito, le medie annuali si troveranno concordare con esattezza ancor maggiore. Questa facoltà delle medie di appianare e far sparire tutte le variazioni irregolari od accidentali, frequentemente fa che otteniamo la prova di altre variazioni veramente regolari, periodiche nel loro ritorno, e di tanto più minute delle accidentali nel loro ammontare, che senza questo modo di procedere non sarebbero mai divenute apparenti. Quindi se l'altezza del barometro sarà osservata costantemente quattro volte al giorno, per pochi mesi, e se si prenderanno le medie, si vedrà che un ondeggiamento regolare *giornaliero* ha luogo ad un picciolissimo grado, e che il mercurio sale e si abbassa due volte nelle ventiquattr' ore. Con queste osservazioni avviene che possiamo accertare — ciò di cui nessuna misura unica (tranne il caso di una fortunata coincidenza) ci potrebbe dare un'idea, nè mai alcuna certa conoscenza, — il vero *livello del mare* a qualunque parte del lido, o l'altezza cui l'acqua dell'Oceano si fermerebbe se fosse perfettamente lasciato tranquillo dai venti, dalle onde e dalle maree: soggetto di grandissima importanza, e su cui sarebbe grandemente da desiderarsi che avessimo una lunga serie di osservazioni, fatte in moltissimi punti delle coste dei continenti e delle isole principali di tutto il globo.

229. In tutti i casi nei quali vi è una diretta e sem-

plice relazione fra il fenomeno osservato ed un solo *dato* dal quale dipende, ciascuna osservazione darà un valore di questa quantità, e la media di tutti (sotto certe restrizioni) ne sarà il valore esatto. Diciamo, sotto certe restrizioni, poichè se le circostanze nelle quali le osservazioni sono fatte non sono simili, non saranno tutte egualmente favorevoli all'esattezza, e si farebbe torto alle più opportune confondendole colle altre. In casi simili a questi, come pure in quelli in cui i *dati* sono numerosi ed intricati, in modo da non ammettere una sola e separata determinazione (cosa che continuamente accade), ci tocca di entrare in assai dilicate e spesso intricatissime considerazioni intorno alla *probabile* accuratezza dei nostri risultamenti, o dei limiti di errore entro i quali è *probabile* che siano contenuti. Nel far questo siamo obbligati ad aver ricorso ad una parte raffinata e curiosa d'investigazioni matematiche, chiamata *dottrina delle probabilità*, l'oggetto della quale (come il suo nome dimostra) è di ridurre a calcolo la nostra estimazione della probabilità di qualunque conclusione, per poter acquistare una maggior cognizione del grado di confidenza che in essa dobbiamo riporre.

230. Per dare una qualche idea generale delle considerazioni che questi computi involvono, imaginiamoci una persona che tiri con una pistola ad una cialda applicata ad un muro lontano dieci braccia. In generale potremmo tener per certo che al primo colpo essa darà nel muro e non nella cialda; ma se volessimo formare una congettura in qualche grado probabile della *vicinanza al segno* alla quale sarà per

giungere, dovremmo aver prima qualche cognizione della sua abilità. Nessun miglior mezzo di giudicarne potrebbe essere trovato che quello di lasciarlo tirare cento volte e di segnare i luoghi che le palle colpiscono. Supponiamo che questo sia fatto, — supponiamo che la cialda sia stata colpita una o due volte, che un certo numero di palle colpirono il muro non più lungi di un'oncia da quelle, un altro numero tra due e tre oncie e così via via finchè se ne incontrano una o due a qualche piede di distanza del segno. Si domanderà ora qual estimazione della sua abilità dovremo noi trarre da questo? A che *punto* di vicinanza potremo noi, dopo questo sperimento, scommettere con fondamento che sia per giungere nel prossimo colpo? Con questi dati le leggi della probabilità ci mettono in grado di argomentarlo. Supponiamo ancora che, *prima* di poter misurare le distanze, la cialda fosse rimossa dal suo luogo, e che dai soli segni delle palle sul muro dovessimo dire dove quella fosse a principio collocata; egli è chiaro che nessun raziocinio ce lo potrebbe far dire con certezza; e tuttavia vi è sicuramente un luogo che, a preferenza di ogni altro, possiamo additare con maggior probabilità di dar nel segno. Questo è un caso affatto somigliante a quello di un osservatore — per esempio un astronomo — il quale volesse determinare il luogo esatto di un corpo celeste. Egli vi dirizza il suo telescopio ed ottiene una serie di risultamenti discordi fra loro, ma tuttavia tutti cadenti dentro a certi limiti, tranne un numero comparativamente piccolo che si scosta considerevolmente dalla media; e da questi si richiede

ch'egli conchiuda definitivamente quale sia il luogo più probabile ch'egli crede fosse occupato dalla stella a quel momento. Lo stesso accade nel calcolo dei *dati* fisici. Dove non vi sono due risultati esattamente d'accordo, e dove tutti si contengono dentro limiti più o meno estesi, che cosa ci ha da guidare allorchè vogliamo deliberare sulle conclusioni da trarsi? Egli è evidente che qualunque sistema di calcolo il quale si può dimostrare dover condurre di necessità alla conclusione più probabile, là dove non si può aver certezza, debbe esser un sistema prezioso. Tuttavia, siccome questa dottrina è una delle più difficili e più dilicate nelle applicazioni delle matematiche alla filosofia naturale, questa breve menzione che ne abbiamo fatta basterà pel presente.

231. Nelle precedenti pagine abbiamo procurato di spiegare lo spirito dei metodi, ai quali, dopo il risorgimento della filosofia, la scienza naturale è stata debitrice dei grandi e splendidi progressi che ha fatto. Ciò che abbiamo sin qui ardentemente desiderato d'imprimere nella mente degli studiosi si è, che la filosofia naturale è essenzialmente unita in tutte le sue parti, nelle quali tutte regna un solo spirito, ed ha luogo un solo metodo d'investigazione. Essa non può tuttavia essere studiata come una sola scienza, ma debb'essere suddivisa; epperò nel rimanente di questo discorso volgeremo uno sguardo compendioso sui progressi che si sono fatti nelle diverse parti nelle quali si può utilmente suddividere, e procureremo di dare un'idea generale della natura di ciascuna e delle sue relazioni colle altre. Nel far questo, avremo fre-

quentemente un'opportunità di accennare l'influenza di quei principii generali che abbiamo per l'addietro tentato di spiegare sul progresso delle scoperte. Ma questo non faremo se non in quanto i casi si presenteranno, senza entrare in un' analisi regolare della storia di ciascuna parte. Un'analisi di questa fatta sarebbe in vero un'opera utilissima, ma essa eccederebbe i limiti che ci siamo prefissi. Non siamo tuttavia senza speranza che questo lavoro, il quale manca ancora alla scienza, sarà fra breve intrapreso da tale che è atto in ogni modo a portarlo a buon compimento.

PARTE TERZA

DELLA SUDDIVISIONE DELLA FISICA IN PARTI DISTINTE, E DELLE LORO RELAZIONI VICENDEVOLI.



CAPITOLO I

Dei fenomeni della forza e della costituzione dei corpi naturali.

232. La Storia Naturale può essere considerata sotto due diversi aspetti: 1° come collezione di fatti e di oggetti presentati dalla natura, dall'esame dei quali e dalla cui analisi e combinazione acquistiamo ogni conoscenza, cui per noi si possa arrivare, sia dell'ordine della natura, sia degli agenti che impiega per produrre i suoi fini, dal che tutte le scienze hanno necessariamente la loro origine; 2° come una riunione di fenomeni da spiegarsi; di effetti da dedursi dalle cause; e di materiali posti nelle nostre mani per l'ap-

plicazione dei nostri principii ad oggetti utili. La storia naturale adunque, considerata nell'uno o nell'altro di questi modi, viene ad essere o il principio o il fine della scienza fisica. Siccome ci offre in una massa confusa ed intrecciata gli elementi di tutto il nostro sapere, a noi tocca di svilupparli, di disporli e di presentarli in un ordine separato e distinto: e a questo fine siamo chiamati a risolvere l'importante ma complicato problema, — dato l'effetto, o una riunione di effetti, trovare le cause. I principii sui quali quest'investigazione si appoggia sono quelli che costituiscono la relazione di causa e di effetto, siccome esiste per rispetto alle nostre menti; le cui regole e il cui modo di applicazione si tentò di delineare nelle precedenti pagine, quantunque assai meno minutamente di quello che l'importanza intrinseca del soggetto, tanto dal lato logico quanto da quello della pratica, avrebbe richiesto. Rimane ora che si riuniscano in un compendioso ragguaglio i risultamenti dell'esame generale della natura, sin dove fu proseguito per la scoperta degli agenti naturali e del modo con cui agiscono.

233. Il primo grand'agente che l'analisi dei fenomeni naturali offre alla nostra considerazione, più frequentemente e in modo più prominente di ogni altro, è la forza. I suoi effetti sono, o — 1° d'impedire l'esercizio di una forza contraria, e con ciò di mantenere l'*equilibrio;* o — 2° di produrre *movimento* nella materia.

234. La materia o, qualunque sia, ciò di che sono composti tutti gli oggetti nella natura che si manifestano direttamente ai nostri sensi, ci offre due qualità

generali che a primo tratto sembrano essere in contraddizione tra loro — l'attività e l'inerzia. La sua attività è provata dal suo potere di spontaneamente mettere altra materia in moto, di obbedire ella stessa al loro mutuo impulso, e di muoversi sotto l'influenza della sua propria e di una forza straniera; — e l'inerzia, dal ricusare di muoversi se non v'è obbligata da una forza esternamente impressa, o mutuamente esercitata tra essa ed altra materia, e dal persistere nel suo stato di movimento o di riposo se non è impedita da qualche causa esterna. Tuttavia in realtà questa contraddizione è soltanto apparente. La forza essendo la causa, ed il movimento l'effetto prodotto da quella sulla materia, il dire che la materia è inerte od ha *inerzia*, come si chiama, è lo stesso che dire che la causa è esausta nel produrre il suo effetto, e che la stessa causa non può (senza essere rinnovata) raddoppiare o triplicare il suo proprio effetto. Sotto questo aspetto l'equilibrio può essere considerato come una produzione continua di due effetti opposti, l'uno dei quali distrugge ad ogni istante ciò che l'altro ha operato.

235. Benchè questo possa apparire troppo metafisico, egli è certo che questa differenza di effetti dà origine a due gran divisioni della scienza della forza, che sono comunemente conosciute coi nomi di STATICA e di DINAMICA; il secondo dei quali, che è generale, ed è stato già da noi impiegato nel suo senso più esteso, viene ordinariamente ristretto alla dottrina del movimento, in quanto che è prodotto e modificato dalla forza. Ciascuna di queste gran divisioni si dirama in

distinte suddivisioni, secondo che consideriamo l'equilibrio o il movimento della materia nei tre distinti stati nei quali ci si presenta nella natura, cioè il solido, il liquido e l'aeriforme, ai quali si dovrebbe forse aggiungere il *viscoso*, come stato intermediario fra quello della solidità e della fluidezza, la considerazione del quale, quantunque assai oscura e difficile, offre, per varie ragioni, un alto grado d'interesse.

236. I principii delle divisioni statica e dinamica della meccanica sono stati definitivamente fissati da Newton sopra una base di sana induzione: e siccome sono perfettamente generali, e si applicano a tutti i casi, essi sono idonei, come si è già osservato, a sciogliere ogni problema che possa occorrere nei metodi deduttivi, coi quali si debbano spiegare fenomeni o calcolare effetti. Quindi essi inchiudono ogni questione che possa nascere relativamente al moto ed al riposo delle più picciole particelle di materia, come delle più vaste masse. Ma il modo di argomentare da questi principii generali differisce materialmente, secondo che li consideriamo come applicati a masse di materia di dimensioni sensibili, o alle molecole eccessivamente minute e forse indivisibili di cui queste masse sono composte. Le investigazioni che si riferiscono al secondo soggetto sono assai intricate, siccome quelle che necessariamente inchiudono la considerazione delle ipotesi che si possono formare intorno all'intima costituzione delle varie sorta di corpi qui sopra enumerate.

237. Per altra parte, quelle che riguardano l'equilibrio e i movimenti di masse sensibili di materia sono

fortunatamente tali da poter essere condotte senza che si richiegga di partire da una particolare ipotesi di struttura. Quindi ragionando sull'applicazione di forza ad una massa solida, noi supponiamo le sue parti indissolubilmente e inalterabilmente connesse: e non importa con qual vincolo, purchè questa condizione sia adempiuta che un punto della massa non possa esser mosso senza mettere tutto il resto in movimento, dimodochè la situazione relativa delle parti tra loro non sia cangiata. Questa è l'idea astratta di un solido che il meccanico impiega nei suoi raziocini. E le loro conclusioni necessariamente non si applicheranno ai corpi naturali, se non in quanto si conformeranno a questa definizione. Tuttavia, strettamente parlando, non vi è corpo che assolutamente vi si conformi. Non si conosce sostanza, le cui parti non cedano assolutamente fra loro; ma la misura del loro cedere è così eccessivamente piccola, da potersi dimostrare che nella maggior parte dei casi non può avere alcun' influenza sui risultati; mentre in quelli in cui influisce, si può sempre instituire una speciale investigazione del suo ammontare. Questo fa nascere due suddivisioni dell'applicazione dei raziocini meccanici alle masse solide. L' una che si riferisce alle azioni di forze sopra corpi flessibili od elastici, l'altra che riguarda gl'inflessibili o rigidi, comprendendo nella seconda specie tutti quelli la cui resistenza al piegare o al frangersi è così grande da permettere che si faccia uso del linguaggio e delle idee del caso estremo, senza timore di cadere in errore materiale.

238. Parimente quando ragioniamo intorno all' a-

zione di forze su di una massa fluida, tutto ciò che abbiamo bisogno di presupporre è che tutte le sue parti siano liberamente movibili fra loro. Se poi, oltre a questo, vogliamo riguardare un fluido come sostanza che non si può comprimere, e dedurre conclusioni da questa supposizione, esse non saranno valevoli se non in quanto tali fluidi esisteranno nella natura. Ma rigorosamente parlando non ve n'è alcuno; sebbene in pratica, nel maggior numero dei casi, la loro resistenza alla compressione è così grande che il risultamento del raziocinio fondato su questa supposizione non viene ad essere sensibilmente viziato. Quanto è ai casi rimanenti, gli stessi principii ci pongono in istato di entrare in una investigazione speciale diretta a questo punto: quindi nasce la divisione dei fluidi nel linguaggio meccanico, in comprimibili e non comprimibili, questi non essendo altro che il caso estremo o il limite dei primi.

239. Siccome tuttavia qui non proponiamo altro se non di considerare quale sia l' attuale costituzione della natura, noi riguarderemo tutti i corpi, quali sono realmente, più o meno flessibili e cedenti. Sappiamo di certo che lo spazio apparentemente occupato da un corpo materiale non è intieramente da lui riempiuto; perchè non ve n'ha alcuno il quale con l'applicazione di una forza sufficiente non possa essere *compresso* o ridotto in un più picciolo spazio, e che, o in tutto, come l'aria e i liquidi, o in parte, come il maggior numero dei solidi, non riprenda le sue prime dimensioni quando la forza è rimossa. Nel caso dell'aria, questa condensazione può essere spin-

ta quasi a qualunque grado; e non solamente una massa d'aria così condensata riprende compiutamente il suo primo volume, quando la pressione è rimossa, ma se quella pressione ordinaria sotto la quale esiste alla superficie della terra (e che proviene dal peso dell'atmosfera) sarà pure tolta da una macchina pneumatica, si dilaterà ulteriormente senza limiti per quanto ci consta dagli esperimenti. Quindi siamo menati a conchiudere che le particelle dell'aria sono mutuamente elastiche ed hanno una *tendenza ad allontanarsi l'una dall'altra*, cosa che non può essere impedita se non dalla forza, ed è perciò ella stessa una forza del genere repulsivo. Ciò non di meno siccome l'aria è pesante, e siccome la gravitazione è una proprietà universale della materia, non vi è dubbio che questa tendenza repulsiva debbe avere un limite, e che vi è una distanza alla quale, se le particelle dell'aria vi potessero essere allontanate l'una dall'altra, la loro mutua repulsione cesserebbe, e vi sottentrerebbe un' attrazione. Questo limite è probabilmente posto ad una grandissima altezza dalla superficie della terra, oltre la quale, di necessità, la sua atmosfera non si può estendere.

240. Ciò che possiamo solamente conchiudere con questo od altro simile raziocinio intorno all'aria, lo veggiamo distintamente nei liquidi. Essi si possono tutti, benchè in picciol grado, comprimere, e tutti riprendono compiutamente le loro prime dimensioni quando cessa la pressione; ma non possono essere dilatati (con mezzi meccanici), e non hanno tendenza, mentre rimangono liquidi, ad allargarsi oltre ad

un certo limite; epperò assumono una superficie determinata mentre sono in riposo, o le loro parti resistono attualmente con una forza considerevole ad una separazione ulteriore, cagionando così il fenomeno della *coesione dei liquidi.*

241. Tanto nell' aria quanto nei liquidi sussiste tuttavia la più perfetta libertà di movimento delle parti tra loro, cosa che non potrebbe accadere se non fossero separate e indipendenti l'una dall' altra. Da questo, combinato con le precedenti considerazioni, è stato conchiuso ch'esse veramente non si toccano, ma sono tenute divise a distanze determinate l' una dall' altra dall' azione costante delle due forze di attrazione e di repulsione, che si suppongono bilanciarsi ed opporsi l'una all'altra nelle distanze ordinarie delle particelle, ma prevalere alternativamente secondochè sono violentemente spinte insieme o allontanate.

242. Nei solidi la cosa sta tuttavia altramente. Il libero movimento mutuo delle loro parti *inter se* è potentemente impedito, ed in alcuni quasi annientato. In alcuni, un lento e gradato cambiamento di figura può esser prodotto, sino ad una grand' estensione, col premerli o col batterli, come per esempio succede nei metalli, nell'argilla, nel burro ecc.; in altri, la frattura è la conseguenza di qualunque tentativo fatto per cambiare con violenza la loro figura oltre uno strettissimo limite. Nei solidi pertanto egli è evidente che la considerazione della loro struttura intima ha una grandissima influenza nel modificare i risultati generali dell' azione di quelle forze attrattive e repul-

sive colle quali si dà ragione dei fenomeni che presentano; tuttavia i fatti generali che le loro parti sono *coerenti* con una certa energia, e che resistono ad ogni rimovimento od intrusione per parte di altri corpi, sono bastanti a dimostrare almeno l'esistenza di tali forze, qualunque oscurità nasconda il loro modo di agire.*

243. Questa divisione di corpi in arie ,.liquidi, e solidi, dà origine a tre diverse parti di scienza meccanica, in ciascuna delle quali i principii generali dell'equilibrio e del moto hanno il loro peculiar modo di applicazione. Esse sono la *pneumatica*, l'*idrostatica*, e ciò che non impropriamente potrebbe chiamarsi *stereostatica*.

Pneumatica.

244. La pneumatica riguarda l'equilibrio o i movimenti dei fluidi aerei sotto tutte le circostanze di pressione, di densità e di elasticità. Il peso dell' aria e la sua pressione su tutti i corpi alla superficie della terra erano affatto ignoti agli antichi, e furono per la prima volta riconosciuti da Galileo, nella circostanza che in una tromba l'acqua non poteva innalzarsi al di là di una certa altezza. Prima d'allora si era sempre supposto che l'acqua s'innalzasse in un tubo per succhiamento, in conseguenza di un certo naturale *abborrimento di un vacuo*, che obbligava l'acqua ad entrare per tenere il luogo dell'aria succhiata via. Ma se un tale abborrimento esistesse ed avesse la forza di una *causa attiva* che potesse spingere l'acqua in un tubo per un solo piede, non vi sarebbe nessuna ra-

gione per cui lo stesso principio non la portasse ad un'altezza di due, tre o qualunque numero di piedi; nessuna perchè dovesse subitamente fermarsi ad una certa altezza, o ricusare di salire più in su per violento che fosse il succio, anzi tornare indietro se spinta espressamente tropp' alto.

245. Galileo tuttavia a principio si contentò della conclusione, che il naturale abborrimento del vacuo non era forte abbastanza per sostenere l'acqua a più di trentadue piedi (1) al di sopra del suo livello; e sebbene la vera causa del fenomeno gli si affacciò finalmente nella pressione dell'aria sulla superficie generale, essa non fu dimostrata in modo soddisfacente finchè il suo allievo Torricelli non concepì la felice idea d'instituire uno sperimento in picciolo, facendo uso di un liquido molto più pesante, — il mercurio invece dell'acqua, — ed in luogo di succiar via l' aria dalla parte superiore, impiegando il metodo assai più efficace di riempiere di mercurio un lungo tubo di vetro e capovolgendolo in un vaso contenente una quantità dello stesso metallo. Si vide tosto allora, come per un *esempio manifesto*, che il mantenersi del mercurio nel tubo (che non è altra cosa se non il barometro comune), era l'effetto di una causa esterna perfettamente definita, mentre le sue variazioni di giorno in giorno, secondo il variare dell' atmosfera , fortemente corroboravano l'idea che fossero cagionate dalla pressione dell' aria esterna sulla superficie del mercurio nel vaso.

(1) Misura inglese.

246. La scoperta di Torricelli fu tuttavia a principio assai male intesa ed anche contrastata, finchè la questione fu finalmente decisa da uno sperimento del genere detto *di croce* nel linguaggio di Bacone, uno dei primi, se non il primissimo, ricordato nella fisica e per cui andiamo debitori al celebre Pascal. La sua sagacità vide che se il peso dell'aria è la causa diretta dell'elevazione del mercurio, esso debbe essere misurato dall'ammontare di questa elevazione, e per conseguenza che portando un barometro su di un'alta montagna, e così ascendendo nell'atmosfera *superiore* ad una gran parte dell'aria premente, tanto la pressione, quanto l'altezza della colonna da essa sostenuta, debbono diminuirsi. Che se per altra parte il fenomeno fosse dovuto alla causa originariamente assegnata, nessuna differenza dovrebbe seguire, sia che l'osservazione si facesse su di una montagna o si facesse in pianura. Forse l'effetto decisivo dello sperimento ch'egli fece instituire a quest'oggetto sul Puy-de-Dôme, alta montagna dell'Alvernia, mentre convinse tutti della verità della conclusione di Torricelli, fu cagione che, più potentemente di ogni altra cosa operata prima nella scienza, si confermasse nelle menti degli uomini quella disposizione alla verificazione sperimentale che non si era ancora pienamente radicata.

247. Immediatamente dopo questa scoperta venne quella della macchina pneumatica fatta da Ottone Von Guericke di Magdeburgo, il quale pare che avesse per iscopo di decidere la questione, se il vacuo potesse o no esistere, procurando di farne uno. L'imperfezione

del suo meccanismo lo pose soltanto in grado di diminuire l'aria contenuta ne' suoi recipienti, ma non di votarli intieramente; ma i curiosi effetti prodotti da un vacuo anche parziale prontamente eccitò l'attenzione altrui ed indusse il nostro illustre concittadino Roberto Boyle a proseguire quegli sperimenti che nelle sue mani e in quelle di Hauksbee, Hooke, Mariotte ed altri, terminò in una conoscenza soddisfacente della legge generale dell' equilibrio dell' aria sotto l'influenza di maggiori o minori pressioni: queste scoperte sono poscia state estese a tutte le diverse qualità di fluidi aerei che la chimica ha mostrato esistere e mantenere il loro stato aeriforme sotto una pressione artificiale; non meno che a quelli che possono esser prodotti da liquidi ridotti ad uno stato di vapore dal calorico, finchè durano in questo stato.

248. La maniera in cui la legge osservata dell' equilibrio di un fluido elastico, come l' aria può essere considerata aver origine nella mutua repulsione delle sue particelle, è stata investigata da Newton, e l' enunciazione stessa della legge come è annunziata da Mariotte « che la densità dell'aria, o la quantità che ne è contenuta nello stesso spazio, è, *caeteris paribus*, proporzionale alla pressione che sostiene », è recentemente stata verificata entro limiti assai estesi con uno sperimento diretto da una commissione della Reale Accademia di Parigi. Questa legge contiene il principio di soluzione di ogni questione dinamica che possa occorrere relativamente all'equilibrio di fluidi elastici, ed è perciò da riguardarsi come uno dei più alti assiomi nella scienza pneumatologica.

Idrostatica.

249. I principii dell'equilibrio dei liquidi (intendendo sotto questa parola quei fluidi che, sebbene pienamente liberi, non tentano di dilatarsi oltre ad un certo punto) sono ad un tempo pochi e semplici. I primi passi verso la loro conoscenza furono fatti da Archimede il quale stabilì il fatto generale, che un solido immerso in un liquido perde una porzione del suo peso eguale a quello del liquido che rimuove. Dopo questo pare sorprendente che non si sia tosto conchiuso che il peso così supposto *perduto* trova solamente una *resistenza* nella pressione del liquido all'insù, e che perciò una porzione di un liquido qualunque, circondata da tutte le parti da un liquido della stessa natura, gravita realmente col suo peso nel mantenere il suo posto. Tuttavia il pregiudizio che « i liquidi non gravitano nel loro luogo naturale » si mantenne vivo, e fu soltanto distrutto insieme con la massa di errori e di assurdità, che l'introduzione di una filosofia razionale e sperimentale per opera di Galileo ha fatto sparire.

250. La legge idrostatica della *pressione eguale dei liquidi in tutte le direzioni*, colla sua serie di curiose ed importanti conseguenze, è una conclusione immediata tratta dalla perfetta mobilità delle loro parti tra di esse, per cui ciascuna tende ad allontanarsi da una pressione eccessiva da un lato, e così viene a premere sul rimanente, e a distribuire la pressione alle sue vicine. In questa forma fu dichiarata da Newton, e

fu uno dei più utili e fecondi principii di raziocinio fisico-matematico sull'equilibrio delle masse fluide, siccome quello che somministra i mezzi di rintracciare l'azione di una forza applicata a qualunque punto di un liquido per tutta la sua estensione. Essa si applica pure, senza alcuna modificazione, ai fluidi espansivi come ai liquidi ; e nelle applicazioni della geometria a questo soggetto, ci dispensa da minute ed intricate investigazioni intorno al modo in cui le particelle individuali operano l'una sull'altra.

251. Sotto un aspetto pratico, questa legge è notevole per la diretta sua applicazione ad oggetti utili. La distribuzione immediata e perfetta di una pressione applicata su di una parte qualunque, per picciola che sia, di una superficie fluida per tutta la massa, ci mette in grado di comunicare *in un medesimo istante* la stessa pressione a qualunque numero di tali parti, col solo accrescere la superficie del fluido, il che può farsi allargando il recipiente; e se questo sarà costrutto in modo che una larga porzione della sua superficie sia movibile insieme, le pressioni su tutte le parti simili di questa porzione si uniranno in una sola forza consenziente, la quale potrà essere accresciuta a qualunque grado, a nostro talento. Il torchio o strettoio idraulico inventato da Bramah (o piuttosto messo in uso da lui giusta l'invenzione assai più antica di Stevin) è costrutto su questo principio. Una picciola quantità d'acqua è spinta con una pressione sufficiente in un vaso *già pieno* e munito di una superficie movibile o di uno stantuffo di gran dimensione. In tale stato di cose qualche parte deve cedere; la gran

superficie dello stantuffo accumula in sè la pressione ad un grado che nulla può resistere alla sua violenza. Così si sradicano piante, si estraggono palafitte dalla terra, stoffe di lana e di cotone sono compresse nei più portabili volumi; e lo stesso fieno pel servizio militare vien ridotto a tanto ristrignimento da poter essere facilmente e in gran copia caricato sulle navi da trasporto.

252. I liquidi differiscono dai fluidi aeriformi per la loro *coesione* che può riguardarsi come una specie di avvicinamento ad uno stato solido, e per tale fu tenuta da Bacone (§ 193). E per verità v'è poco da dubitare che gli stati solido, liquido e aeriforme dei corpi siano meramente gradazioni in un progresso di transizione graduale da un estremo all'altro; e che sebbene le distinzioni fra loro appaiano fortemente segnate, non si troveranno in fine separati da nessuna linea subita e violenta di divisione, ma si confonderanno l'uno coll'altro per gradi insensibili. I recenti sperimenti del barone Cagnard de la Tour possono essere riguardati come un primo passo verso la piena dimostrazione di questo (§ 199). Ma la coesione dei liquidi non è, come quella dei solidi, così modificata dalla loro struttura sott'altri riguardi, da distruggere la mobilità delle loro parti fra di esse (salvo in quei casi di maggiore avvicinamento allo stato solido che si scorgono nei liquidi viscosi o gommosi). Al contrario le due qualità coesistono e sono cagione di molti curiosi ed intricati fenomeni.

253. Uno dei più notevoli di questi è l'attrazione capillare, o capillarità, come è qualche volta chia-

mata. Tutti hanno osservato l'adesione dell'acqua al vetro. L'elevazione della superficie generale del liquido dove è in contatto col recipiente, la forma di una gocciola sospesa alla parte inferiore di un solido, sono esempi di attrazione capillare. Se un picciol tubo di vetro con un pertugio sottile come un capello sarà immerso nell'acqua, questa si vedrà innalzare in esso ad una certa altezza e prendere una superficie concava alla sua estremità superiore. L'attrazione del vetro sull'acqua, e la coesione delle parti dell'acqua tra loro, sono senza dubbio le cause unite di quest'effetto curioso; ma il modo di azione è ad un tempo oscuro e complesso: e quantunque le ricerche di Laplace e di Young vi abbiano sparso una gran luce, un'investigazione ulteriore pare necessaria prima che possiamo dire d'intenderlo distintamente.

254. Siccome la capillarità e la coesione delle parti dei liquidi mostrano ch'essi posseggono il potere di mutua attrazione, così la loro elasticità dimostra che posseggono pur anche quello della repulsione, quando sono per forza portate più vicino del loro stato naturale. Dal picciolissimo grado al quale la compressione dei liquidi può essere spinta da una forza qualunque che s'impieghi, se si paragona con quella dell'aria, dobbiamo conchiudere che questa repulsione è molto più energica in quelli che in questa, ma che è pure contrastata da una più potente forza di attrazione. La resistenza dei liquidi alla compressione è infatti tanto più potente, che solevano essere riguardati come incompressibili; opinione corroborata da un celebre sperimento fatto a Firenze nel quale, si

disse, che l'acqua fu schizzata fuori pei pori di una palla d'oro. Più recenti sperienze di Canton e poscia di Perkins, Oïrsted e di altri hanno tuttavia dimostrato il contrario e determinato l'ammontare della compressione.

255. La considerazione dei movimenti dei fluidi, tanto liquidi quanto espansivi, è infinitamente più complicata che quella del loro equilibrio. Quando i loro movimenti sono tardi, è ragionevole il supporre che la legge dell'uniforme distribuzione della pressione ha luogo; ma nei rapidissimi cambiamenti di posto delle loro parti tra di esse, non è facile il vedere come possa compiersi questa uniforme distribuzione, e v'hanno alcuni fenomeni che sembrano indicare una conclusione contraria.

256. Indipendentemente da questo, vi sono difficoltà di una natura quasi insuperabile alla regolare applicazione deduttiva dei principii generali della meccanica a questo soggetto, le quali nascono dall'eccessiva intricatezza delle pure ricerche matematiche cui la sua investigazione conduce. Newton fu quello che diede l'esempio di un primo tentativo di trarre conclusioni relativamente al moto delle masse fluide da raziocini diretti ricavati da principii dinamici, e così pose il fondamento dell'idrodinamica; ma si fu soltanto al tempo di D'Alembert che il metodo di ridurre una questione qualunque relativa ai movimenti dei fluidi sotto l'azione di forze ad una stretta investigazione matematica, potè dirsi essere compiutamente inteso. Ma anche adesso i casi in cui questo modo di trattare tali questioni può essere applicato

con piena soddisfazione, sono pochi in confronto di quelli nei quali il metodo sperimentale di ricerca, siccome si è già osservato (§ 189), è preferibile. Tale, per esempio, è quello della resistenza di fluidi a corpi per mezzo ad essi moventi: la cui conoscenza è di grand'importanza nell'architettura navale e nell'artiglieria, dove la resistenza dell'aria agisce in un grado enorme. Tali sono pure, fra i soggetti pratici che principalmente dipendono da questa parte di scienza, l'uso delle vele nella navigazione; la costruzione di mulini a vento e di ruote da acqua; la trasmessione dell'acqua per via di tubi e di canali; la costruzione di darsene, e di porti ecc.

Natura dei solidi in generale.

257. La costituzione intima dei solidi è, assai probabilmente, complicatissima, e non può dirsi da noi molto conosciuta. Da alcuni recenti e delicati sperimenti sulle dimensioni di fili metallici violentemente tesi, è stato dimostrato che sono ad un certo picciolo grado capaci di essere dilatati dalla tensione, come di esser compressi dalla pressione, ma dentro limiti ancora più ristretti di quelli dei liquidi. D'ordinario quando sono soverchiamente tesi, si rompono e ricusano di riunirsi: o se sono compressi con troppa violenza, assumono una dimensione di contrazione permanente. Così il legno ritiene l'impronta di un colpo, e i metalli sono renduti più densi e più pesanti dal martellarli o farli passare fra cilindri. V'è un certo grado di confusione nel linguaggio ordinario intorno

alla durezza, all'elasticità ed altre qualità simili dei solidi, che sarà opportuno di chiarire. La durezza è quella disposizione di un solido che rende difficile l'alterare la posizione delle sue parti tra loro. L'acciaio è così più duro del ferro; e il diamante è quasi infinitamente più duro che qualunque altra sostanza nella natura; ma la compressibilità dell'acciaio, o il grado sino al quale egli cede ad una data pressione e riprende il suo primo volume, non è molto inferiore a quella del ferro dolce, e la compressibilità del ghiaccio è quasi affatto la stessa che quella dell'acqua.

258. Noi chiamiamo la gomma indiana un corpo assai elastico e tale ella è certamente; ma in un senso diverso dall'elasticità dell'acciaio. Le sue parti ammettono un gran cambiamento mutuo di posizione senza trasponimento permanente; e in qualunque modo sia contorta, essa riprende facilmente la sua figura, ma con picciola forza. Tuttavia se questa gomma elastica fosse chiusa in uno spazio che riempisse perfettamente, cosicchè non fosse possibile alle sue parti di cedere lateralmente, senza dubbio resisterebbe alla compressione con gran violenza. Qui dunque si ha un caso di due specie d'elasticità in una sola sostanza; un più debole sforzo per riprendere la sua forma quando è stata contorta; ed un altro più violento per tornare da uno stato di dimensione alterata. Tutti e due procedono tuttavia dalla stessa causa e si riferiscono agli stessi principii; il primo non essendo in fatto altro che una modificazione del secondo, come lo sforzo di una molla di acciaio, quando è piegata, per riprendere la sua prima forma, si riferisce alle medesime

forze che danno all'acciaio la durezza e la forza per resistere alla compressione e alla frattura.

259. V'ha una *sodezza* (1) nei solidi che è distinta dalla durezza, quantunque sia spesso confusa con questa, ed è quella qualità per cui un solido sopporta gravi colpi senza rompersi. Essa consiste in un tal qual cedere delle parti con una potente coesione generale, ed è compatibile con vari gradi di elasticità. La malleabilità è pure un'altra qualità dei solidi, specialmente dei metalli, affatto distinta dalla sodezza e dipende dal poter essere privati della loro figura senza che facciano sforzo per ricuperarla e senza frattura.

260. La tenacità è ancora una proprietà dei solidi più direttamente dipendente dalla coesione delle loro parti che la sodezza. Essa consiste nel loro potere di resistere ad una separazione per via di una stiratura continuata, mentre la qualità che abbiamo chiamata sodezza è materialmente messa alla prova dalla disposizione dei solidi a comunicare per entro alla loro sostanza l'effetto scompaginatore di un colpo. Epperò la tenacità di un solido è una misura diretta dell'attrazione coesiva delle sue parti, ed è la miglior prova dell'esistenza di questo potere.

(1) Il traduttore è qui costretto a confessare di non aver saputo trovare altra espressione per distinguere questa qualità dalla *durezza*, come è distinta in inglese dal vocabolo *toughness*, specie di durezza diversa da quella indicata col termine *hardness*. — *Nota del Traduttore.*

Cristallografia.

261. Non è da supporsi che queste e molte altre qualità tangibili, come si possono chiamare, sussistano nei solidi senza un meccanismo corrispondente nella loro interna struttura. Che in essi esista un tal meccanismo, e che questo sia ad un alto grado curioso ed intricato, i fenomeni della cristallografia sufficientemente lo dimostrano. Questa interessante e bella parte della scienza naturale è comparativamente assai moderna. Che molte sostanze naturali sono soggette a prendere certe forme, debb'essere stato conosciuto fin dai tempi più antichi. Plinio sembra aver conosciuto questo fatto, almeno in alcuni casi, poichè descrive le forme del quarzo e del diamante. Ma sino ai tempi di Linneo non sembra che si sia fatta un'attenzione particolare a questo soggetto. Egli osservò tuttavia e descrisse accuratamente le forme cristalline di una quantità di sostanze, e le riguardò eziandio come un carattere così definito dei solidi che le assumono, che venne a supporre ogni particolare forma essere generata da un sale particolare. Romè dell'Isle proseguì ancor più oltre lo studio delle forme cristalline dei corpi. Egli verificò prima il fatto importante della costanza degli angoli ai quali le loro facce s'incontrano; ed osservando inoltre che molti di essi appaiono in più forme diverse concepì tosto l'idea che queste forme fossero riducibili ad una, appropriata in una maniera peculiare a ciascuna *sostanza*, e modificata da rigorose leggi geometriche. Berg-

mann, ragionando su di un fatto partecipatogli dal suo allievo Gahn, fece un passo ancor più grande, e mostrò come una specie almeno di cristallo potesse essere formata di sottili lamine disposte in un certo ordine, e seguenti certe regole di soprapponimento. Egli non dedusse tuttavia giuste e generali conclusioni da questa osservazione, la quale correttamente riguardata è il fondamento della più importante legge della cristallografia, quella cioè che connette la forma primitiva con altre forme che si possono presentare dalla medesima sostanza, con una certa relazione determinata. Si può formare un'idea di ciò che s' intende con questa sorta di connessione di una forma con un'altra, considerando una piramide acuta costrutta con pietre cubiche disposte a strati, ciascuno dei quali separatamente sia una tavola quadrata della spessezza di una sola pietra. Questi strati disposti orizzontalmente l'uno sull'altro, e decrescenti regolarmente in larghezza dal piede alla cima, producono una forma piramidale con una superficie scabra e scanalata; e se gli strati saranno così sottili che le scanalature cessino di essere visibili all'occhio, la piramide apparirà liscia e perfetta.

262. Tosto dopo, e senza sapere che cosa si fosse fatto da Gahne da Bergmann, Haüy, istruito dalla rottura accidentale di un bel gruppo di cristalli, fece l'osservazione già accennata (§ 67); e ragionandovi sopra con maggior cautela e successo, e seguendola in tutte le sue particolarità, sviluppò le leggi generali che regolano il soprapponimento degli strati di particelle, dai quali egli pensa tutti i cristalli essere

formati, e da cui, conoscendo le loro forme primitive, si viene a scoprire, prima dell'esperimento, quali altre forme siano capaci di assumere; le quali, secondo quest' idea, sono chiamate forme derivative o secondarie. Mohs ed altri hanno poscia imaginato metodi e sistemi per cui la derivazione di forme l' una dall' altra è facilitata, ed hanno corretto alcuni errori di troppo frettolosa generalizzazione in cui i loro predecessori erano caduti, come pure accrebbero, con una straordinaria diligenza d' indagini, le nostre cognizioni delle forme che le varie sostanze le quali occorrono nella natura e nell' arte attualmente assumono.

263. In qual maniera una varietà in quanto alla forma esterna possa trar origine da una varietà di figure nelle particelle finali di cui un solido è composto, si può facilmente imaginare, considerando che cosa accadrebbe se i mattoni che compongono un edificio avessero tutti una certa *pendenza* in una direzione fuori della perpendicolare. Supponiamo che ogni mattone, per esempio, quando è posato sulla sua faccia e rivolto nella sua lunghezza da tramontana ad ostro, avesse i suoi lati di levante e di ponente perpendicolari, ma le faccie delle due estremità pendessero verso ostro ad una certa inclinazione eguale in ciascun mattone; una casa costrutta di simili mattoni penderebbe pure nello stesso modo se questi si adattassero perfettamente insieme. Se *oltre a questo* le faccie di levante e di ponente dei mattoni, invece di essere veramente perpendicolari, inclinassero verso levante, la casa inclinerebbe pure da quella parte, e tutti i quattro angoli invece di essere perpendicolari

sarebbero inclinati verso ostro-levante. Suppongasi che invece di una casa si fabbricasse una piramide di simili mattoni obbliqui, coi lati della base diretti ai quattro punti cardinali; allora la sua punta, in luogo di essere posta verticalmente al di sopra del centro della base, sarebbe perpendicolare a qualche punto ad ostro-levante del centro, e la piramide stessa avrebbe i suoi lati di ostro e di levante più inclinati all' orizzonte che non quelli di tramontana e di ponente.

264. In qualunque modo concepiamo la maniera in cui le particelle di un cristallo sono coerenti e formano masse, egli è quasi impossibile di rimuovere da noi l'idea di una figura determinata comune a tutte. Ogni altra supposizione sarebbe affatto incompatibile con quella esatta somiglianza in tutti gli altri rispetti, che i fenomeni della chimica possono considerarsi aver dimostrata. Tuttavia dobbiamo ricordarci che quest' idea, plausibile come può apparire, è ancora in qualche grado ipotetica, e che le leggi della cristallografia, come sono determinate da un' osservazione induttiva, sono al tutto indipendenti da qualunque supposizione di questa natura, od anche affatto dall' esistenza di particelle finali od atomi.

265. Eppure quella peculiare costituzione interna dei corpi solidi, qualunque essa sia, la quale è indicata da ciò ch' essi prendono determinate figure, dal loro sfaldarsi più facilmente in alcune direzioni che in altre, e dal loro presentare superficie lucenti e piane quando sono rotti in frammenti, non può non avere un' influenza importante su tutte le loro relazioni tanto ad agenti esterni, quanto ai loro movi-

menti interni e alle mutue azioni delle parti fra loro. Quindi la divisione dei corpi in cristallizzati e non cristallizzati, o cristallizzati imperfettamente, è una della più universale importanza; e quasi tutti i fenomeni prodotti da quelle cause naturali più intime che operano entro piccioli confini e, per così dire, sul meccanismo immediato delle sostanze solide, sono notevolmente modificati dalla loro struttura cristallina. Quindi nei solidi trasparenti, il corso seguito dai raggi della luce nel traversarli, come pure le proprietà su di loro impresse in quest'atto, sono intimamente connesse con questa struttura. Gli sperimenti di recente fatti dal signor Savart hanno pure provato che questo ha parimente luogo per riguardo al loro potere di resistenza alla forza esterna, dal quale dipende la loro elasticità. Le sostanze cristallizzate, giusta i risultati di questi sperimenti, resistono alla compressione con diversi gradi di forza elastica, secondo la direzione in cui si tenta di comprimerli; e tutti i fenomeni dipendenti dalla loro elasticità sentono gli effetti di questa causa, specialmente quelli che riguardano i loro movimenti vibratorii e la loro trasmessione del suono.

266. V'è poca ragione di dubitare che modificazioni, in simil modo dipendenti dalla struttura interna de'cristalli, saranno scoperte in ogni parte della fisica. In quella sì interessante che riguarda l'azione del calorico nel dilatare le dimensioni delle sostanze, si è già fatto un primo passo dal professore Mitscherlich. Si sapeva già da buona pezza che tutte le sostanze sono dilatate dal calorico, e che nessuna eccezio-

ne a questa legge era stata trovata per riguardo al *volume* del corpo riscaldato. Così una verga di ferro quando è calda è più lunga e più grossa che quando è fredda; e la differenza di dimensione, quantunque in se stessa leggerissima, può tuttavia esser fatta sensibile, ed è di gran conseguenza nella fabbricazione di macchine. Così parimente il mercurio in un termometro ordinario occupa un maggiore spazio quando è caldo che quando è freddo; ed essendo ristretto nella bolla di vetro (che pur essa si dilata, ma *non tanto in proporzione*) è forzato a salire nel tubo. Questi ed altri fatti simili erano conosciuti da lungo tempo; ed accurate misure dell'ammontare totale della dilatazione di una quantità di diversi corpi, sotto simili aumenti di calorico, erano state fatte e registrate in tavole. Ma nessuno aveva avuto sospetto del fatto importante che questa dilatazione nei corpi cristallizzati si opera sotto circostanze totalmente differenti da quelle che s' incontrano nei non cristallizzati. Il signor Mitscherlich ha recentemente dimostrato che queste sostanze si dilatano diversamente in diverse direzioni, ed ha eziandio addotto un caso in cui l'espansione in una direzione è nel fatto accompagnata da contrazione in un'altra. Questo passo, il più importante senza dubbio che si sia fatto sin qui nella pirometria, non può tuttavia riguardarsi se non come il primo in una serie d'indagini che occuperanno la prossima generazione, e che promettono una messe abbondante di nuovi fatti, come pure la dilucidazione di alcuni dei punti più oscuri ed interessanti nella dottrina del calorico.

267. Da ciò che si è detto apparisce chiaramente che se riguardiamo i corpi solidi come collezioni di particelle o atomi trattenuti insieme nei loro posti dall'azione perpetua di forze attrattive e ripulsive, non possiamo supporre che queste forze, almeno nelle sostanze cristallizzate, agiscano egualmente in tutte le direzioni. Quindi sorge l'idea della *polarità*, di cui vediamo un esempio in grande nell'ago magnetico, ma che, sotto forme modificate, nulla c'impedisce dal concepire che agisca fra gli atomi finali de' corpi solidi od anche fluidi, e produca tutti i fenomeni che presentano nel loro stato cristallizzato, ossia che operino l'uno sull'altro, o sulla luce, sul calorico, ecc. Se diamo libero campo all'imaginazione, non è difficile il concepire come atomi attrattivi e repulsivi, vincolati insieme da qualche ignoto legame, possano formare picciole macchine o particelle composte, che avranno molte delle proprietà che noi riferiamo alla polarità; e invero molte ingegnose supposizioni sono state fatte a quest'effetto: ma nel presente stato della scienza egli è certamente più sicuro il lasciar da parte queste ipotesi, senza tuttavia rigettarle, e il riguardare la *polarità della materia* come uno dei fenomeni finali, cui l'analisi della natura ci conduce, e di cui spetta a noi d'investigare pienamente le leggi prima che tentiamo di verificarne le cause o di rintracciare il meccanismo da cui è prodotta.

268. Adunque le mutue attrazioni e repulsioni delle particelle della materia e la loro polarità, sia che si riguardino come proprietà originarie, o si considerino come derivative, sono le forze che, operando con

grand' energia e dentro a strettissimi limiti, dobbiamo considerare come i principii dai quali l'intima costituzione di tutti i corpi e molte delle loro mutue azioni dipendono. Esse sono quelle di cui s'intende parlare sotto il termine generale di *forze molecolari.* Taluni tentarono di confondere l'attrazione molecolare con l'attrazione generale di gravità che tutta la materia esercita su tutta la materia: ma quest' idea è confutata da chiarissimi fatti.

CAPITOLO II

Della comunicazione del moto a traverso i corpi. — Del suono e della luce.

269. La propagazione del moto per tutte le sostanze, sia effetto di un solo impulso, come un colpo od una spinta, o di un impulso frequentemente e regolarmente ripetuto come un movimento vibratorio, dipende intieramente da queste forze molecolari; ed è da una tale propagazione che il suono e, assai probabilmente, la luce procedono. Per comprendere la maniera in cui un movimento può esser trasmesso da una parte a un' altra di una sostanza, sia solida o fluida, poniamo mente a ciò che accade quando un'onda è fatta scorrere lungo di una cordicella tesa, o sulla

superficie di un' acqua tranquilla. Ogni parte della fune o dell'acqua è successivamente mossa dal suo luogo, ed agitata da un movimento simile a quello dell'impulso originario, lasciando il suo posto e ritornandovi, e quando una parte cessa di muoversi la vicina riceve, per così dire, l'impressione e la trasmette più oltre. Questa sembrerà una operazione lenta e lunga a descriverla; ma quando il suono, per esempio, è trasmesso per via dell'aria, dobbiamo considerare prima di tutto che l'aria, ossia la sostanza attualmente in moto è estremamente leggiera ed è sotto l'impressione di una potentissima elasticità, di modo che la forza che propaga il moto, o per cui le particelle adiacenti agiscono l'una sull'altra e si spingono innanzi, è grandissima, paragonata con la quantità di materiali che pone in movimento: e lo stesso è vero anche in grado maggiore nei liquidi e nei solidi; poichè in questi le forze elastiche sono anche più grandi, in proporzione del peso, che nell'aria.

270. Gli antichi non erano assolutamente privi di una nozione generale del modo in cui i suoni sono trasmessi per via dell'aria; ma siamo debitori a Newton del primo tentativo di analizzare questa operazione, e di mostrare correttamente ciò che accade nella comunicazione del moto di particella in particella. Ragionando sulle proprietà dell'aria come corpo elastico, egli mostrò che l'effetto di un impulso su qualunque porzione di essa consiste nella condensazione dell'aria immediatamente adiacente nella direzione dell'impulso, la quale reagendo colla sua elasticità, rispinge indietro la porzione che si era inoltrata nel suo

posto originario, e nello stesso tempo spinge oltre la porzione che ha innanzi, nella direzione dell'impulso, cosicchè ogni particella alternativamente s'avanza e retrocede. Ma nel proseguire quest'idea ne' suoi particolari Newton cadde in alcuni errori che furono indicati da Cramer, sebbene la loro origine non fosse verificata, nè il raziocinio corretto, finchè l'argomento non fu ripigliato da Lagrangia e da Euler; nè questo può far mettere in dubbio la sagacità del nostro immortale concittadino. La teoria matematica della propagazione del suono e dei movimenti vibratorii e ondulatorii in generale è una delle più intricate; e a malgrado di tutti gli sforzi fatti dai più sperimentati geometri, continua ancora a porgere sempre nuove occasioni di ricerche; mentre fenomeni costantemente si presentano, i quali dimostrano quanto siamo lontani dal poter dedurre tutti i particolari, anche di casi comparativamente semplici, con un diretto raziocinio dai primi principii.

271. Ogni qual volta un impulso qualunque è trasmesso per l'aria alle nostre orecchie, esso produce l'impressione del suono; ma quando questo impulso è in modo regolare ed uniforme ripetuto con una successione assai rapida, ci dà l'impressione di una nota musicale, la cui altezza dipende dalla rapidità della successione (§ 153). Il senso poi dell' armonia dipende dal ricorrere periodico d'impulsi coincidenti all' orecchio, e presenta forse il solo caso di una sensazione, della cui piacevole impressione si può dare una ragione distinta e intelligibile.

272. L'acustica dunque, o scienza del suono, è una

parte notevolissima della fisica, ed è stata coltivata sin dai tempi più antichi. Pittagora ed Aristotile non ignoravano il modo generale della trasmessione del suono per via dell'aria, e la natura dell'armonia; ma come parte di scienza, indipendente dalla sua deliziosa applicazione nell'arte della musica, si può appena dire che esistesse, finchè la sua natura e le sue leggi divennero soggetto di ricerche sperimentali a Bacone e a Galileo, a Mersenne ed a Wallis, e d'investigazioni matematiche a Newton ed ai suoi illustri successori Euler e Lagrangia. D'allora in poi i suoi progressi, come parte ad un tempo di scienza matematica e sperimentale, sono stati costanti e rapidi. Un curioso e bel metodo di osservazione, dovuto a Chladni, consiste nella felice idea di sparger di sabbia la superficie dei corpi che sono in istato di vibrazione sonora, e di notare le figure che prende. Questo ha fatto che i movimenti di quei corpi cadessero sotto il senso della vista, e il metodo ne è stato non è molto perfezionato e variato nella sua applicazione dal signor Savart, cui andiamo pure debitori di una serie di istruttive ricerche su di ogni punto connesso col soggetto del suono, le quali sono da porsi fra i più bei saggi di moderna investigazione sperimentale. Ma il soggetto è assai lontano dall'essere esaurito; e certamente vi sono poche parti di fisica che promettano insieme tanto diletto e sì importanti conseguenze, nelle sue relazioni con altri soggetti, e specialmente, per mezzo di forti analogie, con quello della luce.

*

Luce e Visione.

273. La natura della luce è sempre stata grandemente avvolta in dubbio ed in mistero. Appena si può dire che gli antichi avessero un' opinione su quest'argomento, salvo si considerasse per tale l' affermare che i corpi distanti non possono esser posti in comunicazione senza un *intermedio;* e che perciò vi debb' essere *qualche cosa* tra l' occhio e l' oggetto veduto. Che si fosse questa *cosa* essi non lo poterono se non vagamente congetturare. Uno suppose che gli occhi medesimi mandano raggi od emanazioni di una natura sconosciuta, per cui gli oggetti lontani sono quasi sentiti; idea singolarmente infelice, poichè non dà ragione per cui gli oggetti non debbano essere egualmente veduti nell' oscurità — e non ispiega, in una parola, la parte che la *luce* ha nella visione. Altri imaginarono che tutti gli oggetti visibili mandano costantemente da sè in tutte le direzioni una specie di somiglianza o quasi spettro di se stesse, che, quando è ricevuto dagli occhi, produce un' impressione degli oggetti. Vaga e goffa quale è evidentemente quest' ipotesi, essa assegna all' oggetto un potere, ed alla luce una propagazione diffusiva in tutte le direzioni, l'uno e l' altra indipendenti dai nostri occhi, epperò viene a separare i fenomeni della *luce* da quelli della *visione.*

274. L' ipotesi di Newton è un raffinamento e un miglioramento di questa idea. Invece di spettri o somiglianze, egli suppone che gli oggetti luminosi dar-

deggino in tutte le direzioni, particelle di una minutezza inconcepibile (siccome si debbono credere per la loro enorme velocità (§ 17), affinchè non mettano in pezzi ogni cosa che colpiscono). Queste particelle egli suppone che vadano soggette a forze attrattive e repulsive che risiedono in tutti i corpi materiali, le seconde delle quali si stenderebbero ad una picciolissima distanza oltre le loro superficie; e che per l'azione di queste forze siano sviate dal loro corso regolare rettilineo, senza che mai vengano in contatto attuale con le particelle medesime dei corpi sui quali cadono; ma o siano respinte e *riflesse* dalle forze repulsive prima di arrivare a quelli, o penetrino fra i loro intervalli, come un augello vola tra i rami di una foresta, e supportino tutte le loro azioni, prendendo nel lasciarli una direzione finalmente determinata dalla posizione della superficie donde emergono per riguardo al loro corso.

275. Questa ipotesi che fu discussa e ragionata da Newton in una maniera degna di lui, somministra, coll'applicazione delle stesse leggi dinamiche ch' egli aveva applicate così felicemente alla spiegazione dei movimenti planetari, non solamente una plausibile, ma una perfettamente ragionevole spiegazione di tutti i fenomeni *ordinari* della luce conosciuti a' suoi tempi. Le sue stesse belle scoperte delle diverse rifrangibilità dei raggi diversamente colorati furono perfettamente rappresentate in questa teoria, col semplice ammettere una differenza di velocità nelle particelle che producono nell' occhio le sensazioni dei differenti colori. E se le proprietà della luce fossero rimaste li-

mitate a queste, non sarebbe stato necessario di ricorrere a un altro modo di concepirla.

276. Un' ipotesi assai diversa era tuttavia stata suggerita circa allo stesso tempo da Huyghens , il quale suppose la luce essere prodotta nello stesso modo che il suono, per la comunicazione di un movimento vibratorio dal corpo luminoso ad un fluido altamente elastico, ch' egli imaginò riempiere tutto lo spazio, ed essere meno condensato nei limiti dello spazio occupato dalla materia, e ciò ad un grado maggiore o minore secondo la natura della sostanza occupante. Così in luogo di alcuna *cosa* dardeggiata egli sostituì onde o vibrazioni propagate in tutte le direzioni da corpi luminosi a traverso questo *mezzo* o etere, come egli l'ha chiamato. Huyghens essendo valente matematico potè seguire molte delle conseguenze di quest' ipotesi, e dimostrare che le leggi ordinarie di riflessione e rifrazione erano da essa rappresentate e se ne dava ragione, egualmente che da quella di Newton. Ma l' ipotesi di Huyghens non ha avuto un pieno successo nel render ragione di ciò che può essere considerato come il primo dei fatti ottici , la produzione di colori nella rifrazione ordinaria della luce per mezzo di un prisma di cui la teoria di Newton dà una compiuta e leggiadra spiegazione; e la cui scoperta, da lui fatta, segna una delle più grandi epoche negli annali della scienza sperimentale. Questa obbiezione che molte volte fu fatta a una tale ipotesi, rimane ancora, se non affatto senza risposta, almeno soltanto imperfettamente rimossa.

277. Altri fenomeni non mancavano tuttavia per

dar materia ad ulteriori prove dei *poteri spiegativi* dell'una e dell' altra ipotesi. La diffrazione o inflessione della luce, scoperta da Grimaldi gesuita bolognese, pareva indicare che i raggi della luce erano rimossi dal loro diritto corso dal semplice passare presso a corpi di ogni qualità. Questi fenomeni, che sono curiosissimi e bellissimi, furono minutamente esaminati da Newton, e da lui attribuiti all' azione delle forze repulsive stendentisi ad una sensibile distanza dalla superficie dei corpi; e la sua spiegazione, per ciò che riguarda i fatti da lui conosciuti, appare soddisfacente quanto si poteva allora aspettare, e molto più che qualunque cosa si potesse produrre a quel tempo per l' ipotesi di Huyghens, la quale sembrava in fatto incapace di darne la menoma ragione.

278. Un'altra classe di delicati e splendidi fenomeni ottici, che avevano cominciato ad eccitare l' attenzione dei filosofi un po' prima dei tempi di Newton, sembravano sfidare egualmente le due ipotesi a spiegarli. Erano questi i colori presentati da sottilissime sfoglie o di un liquido (come la pellicina di una bolla di sapone), o d'aria come quando due vetri sono posti l' uno sull'altro con nient' altro che uno strato d' aria fra loro. Questi colori furono esaminati da Newton con una minuta accuratezza affatto senza esempio nella filosofia sperimentale a quel tempo, e colla quale poche indagini intraprese posteriormente possono stare in paragone. Il loro risultamento fu una teoria di una natura assai singolare, ch' egli fondò su di un'ipotesi di ciò cui diede nome di *accessi di facile trasmes-*

sione e riflessione, la quale supponeva ciascun raggio di luce passare periodicamente nel suo progresso per una successione di stati tali da disporlo a penetrare nella superficie di un corpo su cui venga a cadere, o ad esserne riflesso indietro. La più semplice maniera di concepire questa ipotesi è di riguardare ogni particella di luce come una specie di picciola magnete volgentesi rapidamente intorno al suo centro mentre si avanza nel suo corso, per cui viene alternativamente a presentare i suoi poli attrattivo e repulsivo, cosicchè quando giunge alla superficie di un corpo col polo repulsivo innanzi, è respinta e riflessa, e quando il contrario accade, è attratta e penetra nella superficie. Newton tuttavia prudentemente evitò di annunziare la sua teoria in questa o in altra simile forma, limitandosi intieramente ad un linguaggio generale. Quindi è stato senza esitazione asserito da tutti i suoi seguaci, che la dottrina degli accessi di facile riflessione e trasmessione, quale fu da lui dichiarata, non è altro in sostanza fuorchè un' enunciazione di fatti. Se ciò fosse, egli è chiaro che qualunque altra teoria che offrisse una giusta spiegazione degli stessi fenomeni dovrebbe in ultima analisi involgere quella di Newton, e coincidere con essa. Ma tale, come presentemente vedremo, non è il caso; e quest' esempio dovrebbe servire a renderci molto cauti nell' impiegare, enunciando leggi fisiche derivate da sperimenti, un linguaggio che involva qualunque cosa menomamente teorica, se vogliamo presentare le leggi stesse in una forma che niuna futura investigazione modifichi o distrugga.

279. Una terza classe di fenomeni ottici, che fu pure scoperta mentre Newton era ancora occupato nelle sue ricerche ottiche, fu quella presentata dai cristalli doppiamente rifrangenti. In che cosa il fenomeno della doppia rifrazione consista abbiamo già avuto occasione di spiegarlo. Il fatto fu primamente osservato da Erasmo Bartolin nel cristallo chiamato spato d'Islanda, e fu studiato con attenzione da Huyghens, che ne verificò le leggi e le riferì con molto ingegno e successo alla sua teoria della luce, con l'ipotesi addizionale di una costituzione tale del suo *mezzo* etereo dentro del cristallo, che gli facesse trasmettere un impulso più rapidamente in una direzione che in un'altra: come se, per esempio, supponessimo un suono portato nell'aria con diversi gradi di rapidità nella direzione verticale e nell'orizzontale.

280. Alcuni fatti degni di osservazione i quali accompagnano la doppia rifrazione prodotta dallo spato d'Islanda, che Bartolin, Huyghens e Newton avevano studiati, indussero l'ultimo di essi a concepire la singolare idea che un raggio di luce dopo essere emerso da un tal cristallo acquista *lati*, vale a dire relazioni distinte allo spazio che lo circonda, le quali porta con sè in tutto il suo corso susseguente, e che danno origine a tutti quei curiosi e complicati fenomeni ora conosciuti sotto il nome di *polarizzazione della luce.* Questi risultamenti apparivano tuttavia così straordinari e davano così poca opportunità ad ulteriori inquisizioni, che il loro esame fu abbandonato quasi per comune consentimento; e Newton medesimo stette contento a fortemente inculcare l'apparente incom-

patibilità di queste proprietà con la dottrina Huygheniana, ma senza fare alcun tentativo di spiegarle con la sua.

281. Dal tempo delle scoperte ottiche di Newton sino al principio del presente secolo non si accrebbe gran fatto la nostra conoscenza della natura della luce, se si eccettua una scoperta la quale per la sua inestimabile applicazione pratica terrà sempre un posto prominente negli annali dell' arte e della scienza; vogliamo parlare della scoperta del principio del telescopio acromatico che ebbe origine da una discussione tra il celebre geometra Euler, Klingenstierna, valente filosofo svezzese, e il nostro concittadino l'eccellente ottico Dollond, in occasione di certe astratte investigazioni teoriche del primo che lo indussero a specolare sulla sua *possibilità*, e che terminarono finalmente nella sua compiuta e felice *esecuzione* per mano dell' ultimo; caso memorabile nella scienza, quantunque non singolare, in cui il geometra specolativo nella sua camera, separato dal mondo e vivente in mezzo ad astrazioni, è stato autore di pensieri della più nobile applicazione pratica (1).

282. La spiegazione che la nostra conoscenza delle leggi ottiche procura del meccanismo dell' occhio, e del modo in cui la visione si opera, è altrettanto compiuta e soddisfacente quanto quella dell' udito per la propagazione del moto nell'aria. La camera oscura in-

(1) Pare non vi sia dubbio tuttavia che un telescopio acromatico era stato costrutto da un privato dilettante (il sig. Hall), qualche tempo prima che Euler e Dollond vi pensassero.

ventata da Batista Porta nel 1560 diede la prima idea del come le imagini attuali di oggetti esterni potevano essere portate nell'occhio; ma non fu se non dopo un considerevole intervallo che Keplero, immortale scopritore di quelle gran leggi che regolano i periodi e i movimenti dei pianeti, indicò distintamente gli uffizi riempiuti dalle varie parti dell'occhio nell'atto della visione. Da questo all'invenzione del telescopio e del microscopio pare che non ci dovesse essere se non un picciol passo, ma esso è dovuto più all'accidente che allo studio; e l'esser quello stato nuovamente trovato da Galileo, su di una semplice descrizione de'suoi effetti, può servire fra mille simili esempi a dimostrare che inestimabili applicazioni pratiche stanno in nostro potere, se una volta possiamo indurci a credere alla loro possibilità, lezione che dall'invenzione del telescopio acromatico stesso, come abbiamo qui sopra accennato, ci viene con egual forza inculcata.

283. Il picciolo stromento col quale le splendide scoperte di Galileo furono fatte, aveva una forza appena superiore a quella di un ordinario cannocchiale moderno, ma fu rapidamente migliorato, e nelle mani di Huyghens giunse a dimensioni gigantesche e ad una grandissima potenza. Si fu per ovviare alla necessità della lunghezza enorme voluta per questi telescopi, e per assicurare tuttavia la medesima loro forza, che Gregory e Newton imaginarono il telescopio a riflessione che divenne poscia uno stromento assai più potente che probabilmente non si pensassero i suoi primi inventori.

284. Il telescopio come esiste adesso, coi perfezionamenti nella sua struttura e nella sua esecuzione che gli artisti moderni vi hanno operato, debbe senza dubbio esser posto fra le più alte e le più raffinate produzioni dell'arte umana; quella in cui l'uomo ha potuto farsi più vicino all'artifizio della natura, e che gli ha conferito, se non un altro senso, almeno tale ampliazione di uno già da lui posseduto che merita quasi di essere riguardata come un senso novello. Nè appare tuttavia che sia ancor giunta alla sua ultima perfezione, alla quale è in verità difficile di fissar limiti, quando consideriamo i maravigliosi progressi che ogni genere d'arte va facendo, e la delicatezza di artifizio, infinitamente superiore a quella dei tempi passati, con la quale i materiali possono ora essere lavorati, come pure le invenzioni e le combinazioni ingegnose che in ogni anno vengono alla luce per giungere agli stessi fini con mezzi sin qui non tentati (1).

285. Dopo un lungo torpore, la conoscenza delle proprietà della luce cominciò a far nuovi progressi verso il finir del secolo scorso, e progredì poi con una gran rapidità che continuò sino ai giorni nostri senza rallentarsi. L'esempio fu dato dall'ora fu nostro eccellente concittadino il Dr. Wollaston, il quale esa-

(1) Facciamo allusione alle combinazioni acromatiche recentemente inventate dai signori Barlow e Rogers, e i densi vetri di cui il sig. Faraday ha recentemente spiegato la manifattura in uno scritto pieno dei più begli esempi di delicata e felice manipolazione chimica, per cui è da sperarsi che sorga un'era novella nella pratica dell'ottica, i cui benefizi saranno sentiti se non altro dalla prossima generazione. Vedi *Trans. Filos.* 1830.

minò di nuovo e verificò le leggi della doppia rifrazione nello spato islandico annunziata da Huyghens. Chiamatasi l'attenzione a questo soggetto, la geometria di Laplace trovò presto un mezzo di spiegare una parte almeno del mistero di questo singolare fenomeno, con la teoria Newtoniana della luce, applicata sotto certe supposte condizioni; e il raziocinio che lo menò al risultato (affatto inatteso a quel tempo) può essere giustamente riguardato come uno dei più felici sforzi del suo ingegno. Il proseguimento di questo soggetto, divenuto così di un grande interesse, fu incoraggiato dalla proposizione di un premio per parte dell'Accademia francese delle scienze; e si fu in una memoria che nel 1810 ricevette questa onorevole ricompensa, che Malus, uffiziale del genio francese in ritiro, annunziò la grande scoperta della *polarizzazione della luce* per via di riflessione ordinaria alla superficie di un corpo trasparente.

286. Malus trovò che quando un raggio di luce è riflesso dalla superficie di un tal corpo ad un certo angolo, esso acquista precisamente la stessa proprietà singolare che gli è impressa nell'atto della doppia rifrazione, e che Newton aveva prima espressa con dire che possedeva *lati*. Questa fu la prima circostanza che indicò una connessione fra quel fenomeno fin allora misterioso e gli altri delle modificazioni ordinarie della luce; e divenne finalmente il mezzo di ridurre il tutto dentro i limiti, se non di una compiuta spiegazione, almeno di una plausibilissima rappresentazione teorica. Tanto è vera, nella scienza, l'osservazione di Bacone, che nessun fenomeno naturale può

essere bene studiato *in sè solo*, ma che per essere compreso debb' essere considerato *nella sua connessione con tutta la natura.*

287. I nuovi fenomeni così rivelati furono immediatamente studiati con diligenza e buon esito tanto all' estero da Malus e Arago, quanto fra noi dal nostro concittadino il Dr. Brewster, e le leggi ne furono investigate con un' accuratezza proporzionata alla loro importanza; quando un' altra classe di fenomeni, apparentemente ancora più straordinaria, si presentò nella produzione di vivaci e bei colori (in tutto somiglianti a quelli osservati da Newton nei sottili strati d' aria o di liquidi, ma infinitamente più sviluppati e sorprendenti), in certe sostanze cristallizzate trasparenti, allorchè sono divise in lamine piatte in direzioni particolari, ed esposte ad un raggio di luce polarizzata. L' attento esame di questi colori fatto da Wollaston, da Biot e da Arago, ma più specialmente da Brewster, prontamente condusse alla scoperta di una serie di fenomeni ottici così svariata, così splendida, ed evidentemente in così stretto modo connessa coi punti più importanti relativi alla struttura intima dei corpi cristallizzati, da eccitare la più grande curiosità, — quella specie di ansiosa curiosità che si prova quando sentiamo esser vicini a qualche straordinaria scoperta, ed aspettiamo ad ogni momento che qualche fatto principale sia per apparire, il quale spargerà di luce tutto ciò che sembra oscuro, e ridurrà in ordine tutto ciò che pare anomalo.

288. Quest' espettazione non fu delusa. Prima del tempo di cui parliamo, e sin dal primo anno di que-

sto secolo, il nostro illustre concittadino, l'ora fu Dr. Tommaso Young, aveva stabilito un principio nell'ottica, che, riguardato come legge fisica, ha appena l'eguale per bellezza, semplicità ed estensione di applicazione in tutta quanta la scienza. Considerando la maniera in cui le vibrazioni di due suoni musicali, che arrivino ad un tempo all'orecchio, fanno sul senso un' impressione di suono o di silenzio secondo che concordano o si oppongono nei loro effetti, egli fu indotto a pensare che lo stesso debbe accadere nella luce come nel suono, se è pur vera la teoria che fa l' una analoga all'altro; e che perciò due raggi di luce che partano dalla stessa origine, nel medesimo istante, ed arrivino allo stesso luogo per diverse vie, dovrebbero rinforzare, oppure totalmente o parzialmente distruggere i loro mutui effetti, secondo la differenza della lunghezza delle vie da ciascuno percorse. Che due luci si combinino in certe circostanze per produrre oscurità, può essere considerato come cosa strana, ma è pure *letteralmente vera;* ed è stata da lunga pezza notata come fatto singolare ed inesplicabile da Grimaldi ne'suoi sperimenti sull' inflessione della luce. I mezzi sperimentali con cui il Dr. Young confermò questo principio conosciuto in ottica col nome d' *interferenza* dei raggi di luce, furono semplici e soddisfacenti quanto il principio medesimo è bello; ma le sue verificazioni tratte dalla spiegazione che dà dei fenomeni apparentemente più remoti, sono ancora più soddisfacenti. I colori dei sottilissimi strati di Newton furono i primi fenomeni ai quali l'autore applicò il suo principio con pieno successo. La seconda rimar-

chevole applicazione ne fu fatta ai fenomeni della diffrazione, di cui, il signor Fresnel, illustre geometra francese, diede pure su tal principio una spiegazione compiuta, e ciò in casi eziandio cui l'ipotesi di Newton non poteva apparentemente essere applicata, e per una complicazione di circostanze che servirebbero di rigida prova a qualunque ipotesi.

289. Un semplice e bello sperimento sulle interferenze della luce polarizzata, eseguito da Fresnel e da Arago, fece che i loro autori potessero applicare la legge del Dr. Young ai colori prodotti da lamine cristallizzate in un raggio polarizzato, e con ciò sommministrò la chiave di tutti gl'intricamenti di cotesti magnifici ma complessi fenomeni. Nulla pertanto più mancava ad una teoria razionale della doppia rifrazione, se non di formare un'ipotesi di qualche modo in cui si potesse concepire la luce propagarsi per via di un *mezzo* elastico che la comunicasse, senza però che nascesse alcuna contraddizione ai fatti o alle leggi generali della dinamica. Quest'idea essenziale, senza la quale tutto ciò che prima si era fatto sarebbe stato imperfetto, fu pure suggerita dal Dr. Young, il quale con una sagacità che avrebbe fatto onore al medesimo Newton, aveva dichiarato che per adattare la dottrina di Huyghens ai fenomeni della luce polarizzata è necessario di concepire il modo di propagazione di un impulso luminoso a traverso l'etere, diversamente da quello di un impulso sonoro a traverso l'aria. In questo le particelle dell'aria *s'avanzano* e *retrocedono;* in quello le particelle dell'etere si debbono supporre *tremare lateralmente.*

290. Prendendo questo per fondamento del suo raziocinio, Fresnel pervenne ad erigervi sopra una teoria di polarizzazione e di doppia rifrazione così felice nel suo adattamento ai fatti, e nella coincidenza colla sperienza dei risultati che ne furono dedotti dalla più intricata analisi, che è difficile d'imaginarsela non fondata. E se pure fosse tale, ella è almeno il sistema più sottile e più artifiziale che la scienza abbia mai veduto; e, sia o no fondata, finchè serve a riunire insieme in un punto di vista comprensivo una massa di fatti quasi infinita in numero e varietà, a ragionare dell'uno all'altro, ed a stabilire analogie e relazioni fra loro; su qualunque ipotesi si appoggi, o qualunque sieno le arbitrarie supposizioni fatte intorno alle strutture e ai modi di azione, non potrà mai essere altrimenti riguardata se non come una reale ed importante addizione alle nostre cognizioni.

291. Ciò nondimeno non è impossibile che la teoria Newtoniana della luce, se fosse coltivata con diligenza eguale a quella con cui si coltivò l'Huyghenia-na, conducesse ad una spiegazione egualmente plausibile di fenomeni ora considerati come inesplicabili per suo mezzo. Biot è l'autore dell'ipotesi, che abbiamo già mentovata, di un movimento rotatorio delle particelle della luce intorno ai loro assi. Egli non l'ha impiegata se non per un oggetto limitato; ma potrebbe senza dubbio essere spinta più oltre; ed ammettendo solamente l'emissione regolare delle particelle luminose ad intervalli eguali di tempo ed in simili stati di movimento dal corpo risplendente, il che non sembra una supposizione troppo arrischia-

ta, tutti i fenomeni dell'interferenza per lo meno sarebbero facilmente spiegati senza che si ammettesse un etere.

292. L'esame ottico di sostanze cristallizzate presenta uno fra molti begli esempi della illustrazione che ciascuna parte di scienza può somministrare a ciascun'altra. Le infaticabili ricerche del dottor Brewster e di altri hanno dimostrato che i fenomeni presentati dalla luce polarizzata nella sua trasmessione a traverso dei cristalli danno una certa indicazione dei punti più importanti relativi alla struttura dei cristalli medesimi, e così divengono caratteri preziosissimi per riconoscere la loro interna costituzione. Newton fu quegli che primo mostrò di quanta importanza, come carattere fisico, — come indicazione di altre proprietà, — potrebbe divenire l'azione di un corpo sulla luce; ma i caratteri che si ricavano dall'uso della luce polarizzata quale stromento di ricerche sperimentali sono così distinti ed intimi, che possono dirsi averci quasi forniti di una specie di senso intellettuale, per cui siamo fatti capaci di scrutare l'interna disposizione di quelle maravigliose strutture che la natura con la sua fine ed invisibile architettura edifica con una delicatezza che sfugge al nostro concepimento, ma tuttavia con una bellezza ed una simmetria che non ci saziamo mai di ammirare. Sotto questo aspetto la scienza dell'ottica ha reso alla mineralogia ed alla cristallografia servizi non meno importanti di quelli che rendesse all'astronomia con l'invenzione del telescopio, o alla storia naturale con quella del microscopio; mentre le relazioni che si sono scoperte esi-

stere fra le proprietà ottiche dei corpi, e le loro forme cristalline, e le loro stesse chimiche tendenze, hanno somministrato numerosi e begli esempi di leggi generali tratte da laboriose induzioni, e dimostranti in un modo curioso la semplicità della natura che emerge lentamente da una massa intralciata di particolari, in cui a primo tratto non si scorge nè ordine, nè connessione.

CAPITOLO III

Dei fenomeni cosmici.

Astronomia e meccanica celeste.

293. L'*astronomia,* come si è osservato nella prima parte di questo discorso, riguardata quale scienza di osservazione, aveva fatto considerevoli progressi fra gli antichi: anzi si può dire che fosse la sola parte di scienza fisica da essi coltivata con qualche assiduità o buon successo. Le memorie caldaiche ed egizie avevano dati materiali per cui i movimenti del sole e della luna potevano essere calcolati con sufficiente esattezza per predire gli ecclissi; ed alcuni notevoli cicli, o periodi d'anni in cui gli ecclissi lunari tornano quasi

nello stesso ordine, erano stati determinati dall'osservazione. Considerando la somma imperfezione dei mezzi d'allora di misurare il tempo e lo spazio, questo era forse tutto ciò che si poteva aspettare in quei tempi remoti; e convien confessare che per un tratto non mancò lo spirito filosofico di giusta speculazione, la quale, se fosse stata continuata, appena era possibile che non menasse a sane ed importanti conclusioni.

294. Sgraziatamente la filosofia d'Aristotele pose per principio, che i movimenti celesti erano regolati da leggi loro proprie, e non aventi affinità con quelle che hanno luogo sulla terra. Tirando così una larga ed insuperabile linea di separazione tra la meccanica celeste e la terrestre, egli pose la prima intieramente fuori delle ricerche sperimentali, mentre nello stesso tempo impedì i progressi della seconda collo stabilire principii relativamente ai movimenti naturali e non naturali, tratti in fretta da riflessioni superficiali e passeggere, le quali non meritavano nemmeno il nome di osservazioni. L'astronomia adunque continuò per molti secoli ad essere una scienza di mera tradizione, nella quale la teoria non aveva parte se non in quanto tentava di conciliare le ineguaglianze dei movimenti celesti con quella pretesa legge di rivoluzione circolare uniforme, la quale sola era considerata consentanea alla perfezione del meccanismo celeste. Quindi nacque quella confusa, se non contraddicente, massa di movimenti ipotetici del sole, della luna e dei pianeti, in circoli i cui centri giravano attorno in altri circoli, e questi in altri senza fine, — « ciclo sovr'epiciclo, orbe sovr'orbe », — finchè le osserva-

zioni divenendo più esatte, e nuovi epicicli essendo continuamente aggiunti, l'assurdità di un meccanismo così imbarazzante si fece troppo palpabile per essere sopportata. Si espressero dubbi, ai quali il sarcasmo di un monarca (1) diede un valore che non avrebbero avuto in un tempo in cui gli uomini appena osavano pensare; e alla fine Copernico, promulgando la sua propria dottrina o facendo rivivere quella di Pittagora, che pone il sole nel centro del nostro sistema, diede all'astronomia una semplicità che, posta in confronto con la complicazione dei sistemi precedenti, si cattivò a un tratto l'universale consenso.

295. Uno scrittore elegante (2), che abbiamo già avuto occasione di citare, ha brevemente e in bel modo spiegato perchè sì lungamente prevalessero quelle confuse idee intorno alla costituzione del nostro sistema, e si provasse tanta difficoltà nel formarsi una vera idea della disposizione delle sue parti. « Noi lo vediamo, osserva egli, non in *pianta* ma in *taglio* ». La ragione di questo si è che il nostro punto di osservazione giace nel suo piano generale, ma l'idea che vogliamo formarci non è quella del suo taglio, bensì della sua pianta. Egli è lo stesso che se volessimo leggere un libro o distinguere le provincie su di una carta geografica coll'occhio a livello della carta o del libro. Non possiamo giudicare direttamente delle distanze di oggetti se non dalla loro dimensione, o piuttosto del loro cambiamento di distanza se non dal loro

(1) Alfonso di Castiglia, 1252.

(2) Jackson, Lettere su vari soggetti ecc. ecc.

cambiamento di dimensione; e non abbiamo alcun mezzo di determinare, se non indirettamente, le loro posizioni stesse tra di loro, dai luoghi apparenti che da noi sono veduti occupare. Ora le riazioni in dimensione apparente del sole e della luna sono troppo picciole perchè possano essere misurate senza l'aiuto del telescopio, e i corpi dei pianeti non presentano nemmeno al nudo occhio alcun volume distinto.

296. Il sistema di Copernico una volta ammesso, questa difficoltà di concepimento è pienamente rimossa, e diviene un mero problema di geometria e di calcolo il determinare, dalle posizioni osservate di un pianeta, la sua vera orbita intorno al sole e le altre circostanze del suo movimento. Questo fu da Keplero eseguito per l' orbita di Marte, che verificò essere un'ellisse avente il sole in uno de' suoi fuochi; e la stessa legge venendo estesa per analogia induttiva a tutti i pianeti, si trovò verificata in ciaschedun caso. Questa con le altre notevoli leggi che sono ordinariamente citate nell'astronomia fisica col nome di leggi di Keplero, costituiscono senza dubbio il più importante e il più bel sistema di relazioni geometriche che siano mai state scoperte con la mera induzione, indipendente da ogni considerazione teorica. Esse comprendono in sè un compendio dei movimenti di tutti i pianeti, e ci mettono in grado di determinare le loro posizioni nelle loro orbite a qualunque momento di tempo passato o avvenire (non avuto riguardo alle loro mutue perturbazioni), purchè certi problemi puramente geometrici possano essere numericamente sciolti.

297. La vera importanza di queste leggi non potè tuttavia essere sentita se non molto dopo i tempi di Keplero. Riguardate in sè stesse, esse offrivano, è vero, un bell'esempio di disposizione regolare ed armonica nella maggiore di tutte le opere della creazione, ed un singolare contrasto col pesante meccanismo dei cicli e degli epicicli che le precedevano; ma qui sembrava terminare la loro utilità, e in fatto si rimproverò a Keplero, e non senza un'apparenza di ragione, che avesse renduto il calcolo delle posizioni dei pianeti più difficile di prima, la geometria essendo allora incapace di risolvere i problemi cui dava origine la stretta applicazione delle sue leggi.

298. Il primo effetto dell'invenzione del telescopio e della sua applicazione ad oggetti astronomici, fatta da Galileo, fu la scoperta del disco e dei satelliti di Giove, — di un sistema che offre una bella miniatura del maggiore di cui fa parte, e che presenta all'occhio del senso, e ad un sol tratto, quella disposizione di parti che nel sistema planetario medesimo non si discerne se non coll'occhio della ragione e dell'imaginazione (§ 195). Keplero ebbe la soddisfazione di veder verificare che la legge da lui scoperta connettere i tempi di rivoluzione dei pianeti con le loro distanze dal sole, si adatta pure ai periodi di circolazione di questi piccioli seguaci intorno al centro del loro primario; dimostrando così esser quella qualche cosa di più che una regola puramente empirica, e dipendere dalla natura intima dello stesso movimento planetario.

299. Si era fatta l'obbiezione alla dottrina di Co-

pernico che, se fosse vera, Venere apparirebbe talora cornuta come la luna. A questo egli rispose ammettendo la conclusione, ed affermando che, se mai fossimo capaci di vedere la sua attual forma, *dovrebbe* apparir tale. Egli è facile l'imaginarsi con che forza quest' applicazione dovette colpire ogni mente, quando il telescopio confermò la sua predizione, e mostrò il pianeta appunto quale il filosofo e i suoi opponenti avevano stabilito d'accordo che dovesse apparire. La storia della scienza presenta forse un solo caso analogo a questo. Quando il Dr. Hutton espose la sua teoria della consolidazione delle rocce per l'applicazione del calorico ad una gran profondità sotto il letto dell'oceano, e specialmente di quella del marmo per via di attuale fusione, si oggettò che, qualunque fosse l'effetto nelle altre rocce, egli era impossibile di concedere una simil causa di consolidazione nelle calcarie e nel marmo, poichè il calorico scompone la loro sostanza e la cambia in calce, cacciando l'acido carbonico e lasciando una sostanza perfettamente infusibile ed incapace pur anche di conglutinazione per mezzo del calorico. A questo egli replicò che la pressione sotto la quale il calorico era applicato impedirebbe all'acido carbonico di fuggire; e che, essendo trattenuto, esso darebbe al composto quella fusibilità che manca alla semplice calce. La generazione seguente vide questa predizione convertita in un fatto osservato e verificato dagli sperimenti diretti di Sir James Hall, il quale giunse a fondere il marmo ritenendone l'acido carbonico sotto una violenta pressione.

300. Keplero, in mezzo a un numero di vaghe ed

anche strane specolazioni sulle cause dei movimenti, le cui leggi aveva così bene e con tanta fatica e pazienza sviluppate, aveva avuto un barlume della legge generale dell'inerzia della materia, come applicabile tanto alle grandi masse dei corpi celesti quanto a quelli che conosciamo sulla terra. Dopo Keplero, Galileo, mentre diede l'ultimo tracollo coi potenti suoi argomenti e con un pungente ridicolo ai dommi aristotelici, i quali ponevano una barriera fra le leggi dei moti celeste e terrestre, contribuì con le sue investigazioni delle leggi dei gravi cadenti e del movimento dei proietti a gettare i fondamenti di un vero sistema di dinamica, per cui i movimenti poterono essere determinati dalle conoscenze delle forze che li producono, e le forze dai movimenti prodotti. Hooke andò più oltre, e si formò un'idea così distinta del modo nel quale i pianeti potevano essere trattenuti nelle loro orbite dall'attrazione del sole, che se in lui la scienza matematica fosse stata eguale all'acume filosofico, e se le sue occupazioni scientifiche fossero state meno numerose ed incostanti, appena si può credere che non fosse giunto a conoscere la legge della gravitazione.

301. Ma tutto ciò che prima di Newton era stato fatto di tendente a questo fine, non poteva riguardarsi che come un appianamento di qualche ostacolo, e una preparazione di uno stato di cognizioni in cui le facoltà di lui potessero efficacemente impiegarsi. L'unione maravigliosa che era in lui di scienza matematica e di fisiche investigazioni, gli fece inventare a suo talento nuovi ed inauditi metodi di ricercare gli

effetti di quelle cause che la sua mente chiara e sagace sorprendeva in operazione. Si può dire ch' egli rinnovò ogni parte della scienza cui si è applicato. Ascendendo per una serie di argomenti induttivi strettamente compatti ai più sublimi assiomi della scienza dinamica, egli pervenne ad applicarli alla compiuta spiegazione di tutti i grandi fenomeni astronomici, e di molti dei più minuti e dei più enimmatici. Nel far questo egli doveva crear tutto: le matematiche de'suoi tempi erano totalmente inette a lottare con le numerose difficoltà che erano da vincersi; ma questo, ben lontano dallo scoraggiarlo, servì solamente a porgere nuove opportunità di mettere in azione quel suo genio, il quale nell'invenzione del metodo delle flussioni o, come adesso più generalmente si chiama, del calcolo differenziale, ha procurato un mezzo di scoperta che sta ai metodi anteriormente impiegati, come la macchina a vapore alle potenze meccaniche ch' erano in uso prima della sua invenzione. Delle scoperte ottiche di Newton abbiamo già parlato; e se la grandezza degli oggetti delle sue scoperte astronomiche eccita la nostra ammirazione delle facoltà mentali che così familiarmente poterono abbracciarle, la minutezza delle ricerche, nelle quali diede con ciò il primo esempio d' internarsi, non è meno atta a produrre un' impressione corrispondente. Da qualunque parte rivolgiamo lo sguardo, siamo costretti ad inchinarci al suo genio e ad assegnare al nome di Newton un luogo nella nostra venerazione, che non appartiene ad alcun altro negli annali della scienza. La sua Era segna la maturità compiuta della ragione umana

nella sua applicazione a questi oggetti. Tutto ciò che precedette potrebbe propriamente essere paragonato ai primi tentativi imperfetti dell'infanzia, o ai saggi di un'inesperta benchè ingegnosa adolescenza. E tutto ciò che è stato fatto dipoi, per grande che sia e degno degli auspici di un così splendido cominciamento, non ha mai richiesto uno sforzo intellettuale che vincesse il sorprendente ingegno che ha prodotto l'opera che ha per titolo *Principia.*

302. In questa grand' opera Newton insegna tutti i movimenti celesti conosciuti a' suoi tempi essere conseguenze della semplice legge che ogni particella di materia attrae ogni altra particella nell' universo con una forza proporzionale al prodotto delle loro masse direttamente ed inversamente al quadrato delle loro mutue distanze, e viene essa medesima attratta con una forza eguale. Partendo da questo, egli spiega come un'attrazione abbia luogo fra le grandi masse sferiche di cui il nostro sistema è composto, regolata da una legge precisamente simile nella sua espressione; come i movimenti ellittici dei pianeti intorno al sole, e dei satelliti intorno ai loro primari, secondo le regole esatte ricavate per induzione da Keplero, risultino essere conseguenze necessarie della stessa legge generale di forza; e come le orbite delle comete stesse non siano altro che casi particolari di movimenti planetari. Quindi procedendo ad applicazioni di una maggior difficoltà, spiega come le imbarazzanti ineguaglianze del movimento della luna risultino dall' azione perturbatrice del sole; come le maree nascano dall'ineguale attrazione tanto dal sole quanto

dalla luna, esercitata sulla terra e sull' oceano che la circonda; e finalmente come la precessione degli equinozi sia una conseguenza necessaria della stessissima legge.

303. I successori immediati di Newton furono tutti occupati nel verificare le sue scoperte e nello estendere e migliorare i metodi matematici che si vedevano manifestamente dover essere le chiavi di un tesoro inesauribile di cognizioni. La scoperta simultanea ma indipendente fatta da Leibnitz di un metodo d' investigazione matematica, in ogni rispetto simile a quello di Newton, mentre creò una specie di gelosia nazionale, che adesso fa pietà, ebbe l' effetto di stimolare i geometri del continente a coltivarlo, e d' imprimergli un carattere più indipendente dall' antica geometria, cui Newton era particolarmente affezionato. E fu gran fortuna per la scienza che questo avvenisse; perchè non si tardò a trovare che (tranne una bella eccezione per parte del nostro compaesano Maclaurin, rinnovata dopo un lungo intervallo dal professore Robinson di Edimburgo con eguale ingegno) la geometria di Newton era come l' arco di Ulisse, che nessuno poteva curvare fuorchè il suo signore; e che per rendere i suoi metodi utili al di là del punto cui gli aveva egli stesso portati, era necessario di toglier loro ogni vestigio di quell' antico abito in cui si era compiaciuto di avvolgerli. Questo, tuttavia, i compaesani di Newton non erano inchinati a fare; e ne portarono la pena col trovarsi condannati a far la parte di spettatori, mentre i loro vicini del continente, tanto in Francia quanto in Germania, progredivano nella car-

riera delle scoperte fisico-matematiche con emulatrice rapidità.

304. Il legato di ricerche che si può dire essere stato lasciato da Newton ai suoi successori, era veramente immenso. Proseguire in tutti i loro intricati avvolgimenti le conseguenze della legge della gravitazione, dar ragione di tutte le inegualità dei movimenti planetari e di quelli infinitamente più complicati, e per noi più importanti, della luna; dare, ciò che a Newton medesimo per certo non venne mai in mente, una dimostrazione della stabilità e della permanenza del sistema sotto tutta l'influenza accumulatrice delle sue interne perturbazioni, fu un lavoro ed un trionfo riserbato al secolo seguente, e in cui successivamente parteciparono Clairaut, D'Alembert, Euler, Lagrangia e Laplace. Tuttavia così esteso è il soggetto, così difficili ed intricate le investigazioni puramente matematiche cui esso mena, che un altro secolo sarà ancora necessario per compiere l'opera. Le recenti scoperte degli astronomi hanno procurato materia d'investigazione ai geometri di questa e della seguente generazione, di una difficoltà eccedente ogni cosa che si sia presentata per l'addietro. Cinque pianeti primari sono stati aggiunti al nostro sistema; quattro dopo il principio di questo secolo, e questi singolarmente devianti dall'analogia generale degli altri, ed offerenti *casi di difficoltà* in teoria, che non erano stati contemplati. Eppure le intricate questioni cui questi corpi hanno dato origine sembrano dover essere vinte in difficoltà da quelle che sono nate insieme con la scoperta di parecchie comete che, come

i pianeti, girano in orbite ellittiche, intorno al sole, in assai brevi periodi. Ma le forze della geometria moderna, lungi dall'essere esauste, sembrano crescere con le difficoltà che hanno ad affrontare, e già fra i successori di Lagrangia e di Laplace, la presente generazione enumera una potente serie di nomi (1) che promettono di renderla non meno celebre negli annali delle ricerche fisico-matematiche di quella che è recentemente sparita.

305. Intanto le posizioni, le figure e le dimensioni di tutte le orbite planetarie sono ora pienamente conosciute, e le loro variazioni di secolo in secolo sono in gran parte determinate; ed è stato generalmente dimostrato che tutti i cambiamenti che le azioni mutue dei pianeti l'uno sull' altro possono produrre nel corso di secoli indefiniti, sono periodici, vale a dire crescenti sino a un certo punto (e questo non mai straordinario), e poscia di bel nuovo decrescenti; cosicchè il sistema non può venir distrutto o sovvertito dalla mutua azione delle sue parti, ma va costantemente oscillando, per così dire, intorno a uno stato medio dal quale non può mai deviare sino ad un punto rovinoso. In particolare le ricerche di Laplace e di Lagrangia hanno dimostrato l'assoluta invariabilità della distanza media di ciascun pianeta dal sole, e conseguentemente del suo tempo periodico. Confidando in queste grandi scoperte, possiamo, dal punto di tempo che adesso occupiamo, spingere lo sguardo in-

(1) Fra i primi di questi il Piemonte e l'Italia si gloriano di mettere quello del Plana. — *Nota del Traduttore.*

nanzi per molte migliaia d'anni nel futuro, e predire lo stato del nostro sistema senza timore di errore materiale, tranne quelli che nascessero da cause la cui esistenza non abbiamo adesso ragione di supporre, o da qualche turbamento che nulla ci conduce ad imaginare.

306. Un'enumerazione e descrizione corretta delle stelle fisse in cataloghi, ed un'esatta conoscenza della loro posizione somministrano il solo mezzo efficace che abbiamo di riconoscere a quali cangiamenti vadano soggette, e quai movimenti, troppo tardi per privarle del solito loro epiteto di *fisse*, ma sufficienti per produrre una mutazione sensibile nello scorrere dei secoli, possano esistere fra loro. Prima dell'invenzione della bussola, esse servivano di guida ai navigatori nella notte; ma a quest'oggetto bastava una picciola conoscenza di alcune poche fra le principali. Ipparco fu il primo astronomo che eccitato dall'apparizione di una nuova stella, pensò di fare un catalogo delle stelle perchè servisse di memoria astronomica, « per cui, dice Plinio, la posterità potrà scoprire non solamente se nascono e muoiono, ma eziandio se cambiano di luogo e se aumentano o diminuiscono ». Il suo catalogo contenente più di 1000 stelle fu compilato 128 anni circa prima di Cristo. Si fu nel corso della laboriosa discussione delle sue proprie e delle antiche osservazioni, intraprese col disegno di compilare questo catalogo, che primamente riconobbe il fatto di quel lento e generale inoltrarsi di tutte le stelle verso levante, quando si paragona col luogo dell'equinozio, cosa conosciuta sotto il nome di pre-

cessione degli equinozi, e che Newton giunse a spiegare riferendola ad un movimento nell' asse della terra, prodotto dall' attrazione del sole e della luna.

307. Dopo Ipparco, a varie epoche della storia astronomica, si sono fatti cataloghi di stelle, fra i quali v' ha quello di Ulugh Begh che comprende circa 1400 stelle, formato nel 1437, e notevole come produzione di un principe sovrano che lavorava personalmente insieme co' suoi astronomi; e l' altro di Ticone Brahe, contenente 777 stelle, compilato nel 1600 dopo un fenomeno simile a quello che eccitò l' attenzione d' Ipparco. In tempi più recenti, gli astronomi muniti dei migliori stromenti che i loro secoli potessero somministrare, e collocati in osservatorii munificentemente dotati dai sovrani e dai governi delle diverse nazioni europee, hanno gareggiato e ancor vanno gareggiando gli uni cogli altri nell' ampliare il numero delle stelle registrate, e nel mettere la maggiore accuratezza possibile nella determinazione dei loro luoghi. E qui sarebbe un' ingratitudine il non fare una menzione speciale della superba serie di osservazioni che, sotto vari infaticabili e benemeriti astronomi, ha per un lungo tratto di tempo continuato a venir fuori dal nostro osservatorio nazionale di Greenwich.

308. La distanza delle stelle fisse è così immensa, che ogni tentativo di fissare un limite *dentro il quale debba* cadere, è sin qui andato fallito. Gli astronomi di tutti i tempi hanno diretto le loro ricerche ad accertarsi di questa distanza, col prendere le dimensioni del nostro sistema particolare del sole e dei piane-

ti, o della terra istessa, quale unità di una scala su cui potesse misurarsi. Ma sebbene molti si sono imaginati che le loro osservazioni offrissero fondamenti per la decisione di questo punto importante, egli è sempre accaduto o che i fenomeni ai quali si appoggiavano si chiarirono essere relativi ad altre cause prima non conosciute, e che la grande accuratezza delle loro ricerche aveva per la prima volta messe in luce; o ad errori provegnenti da imperfezioni stromentali e difetti inevitabili delle osservazioni medesime.

309. La sola indicazione che possiamo sperare di ottenere della vera distanza di una stella consisterebbe in un cambiamento annuo nel suo luogo apparente in corrispondenza col movimento della terra intorno al sole, chiamato sua *annua parallasse*, e che non è altro se non la misura della dimensione apparente dell'orbita della terra veduta dalla stella. Molti osservatori hanno creduto di avere scoperto un ammontare misurabile di questa parallasse; ma di mano in mano che gli stromenti astronomici divennero più perfetti, la quantità che v'hanno successivamente assegnata, è stata continuamente ridotta a sempre più ristretti limiti, e risultò in ogni caso proporzionata agli errori cui gli stromenti adoperati poterono ragionevolmente considerarsi soggetti. La conclusione a cui ci sforza un tale risultamento è che la quantità di cui trattasi, sia realmente troppo piccola per ammettere un misuramento distinto nello stato presente dei nostri mezzi di eseguirlo, e che perciò la distanza delle stelle debba essere così smisurata da fare che

l'immaginazione quasi rifugga dal contemplarla. Ma questo incremento nella nostra scala di dimensione richiede un allargamento di concezione corrispondente in tutti gli altri rispetti. Lo stesso raziocinio che pone le stelle ad una sì immensurabile lontananza, le esalta nello stesso tempo in corpi gloriosi, simili, ed anche di gran lunga superiori, al nostro sole, centri forse di altri sistemi planetari, o destinati ad oggetti di cui non possiamo formarci un'idea, da alcuna analogia tratta da ciò che immediatamente ci passa d'intorno.

310. Il paragone dei cataloghi pubblicati in diversi tempi ha dato occasione a molte curiose osservazioni, per riguardo a cambiamenti di luogo e di splendore fra le stelle, alla scoperta di stelle variabili che perdono o riacquistano periodicamente il loro fulgore, e allo sparire di alcune di esse così compiutamente dal cielo da non lasciare vestigio che si possa discernere anche per mezzo di potenti telescopi. In proporzione che la costruzione degli stromenti astronomici ed ottici si è venuta migliorando, la nostra conoscenza di ciò che è contenuto nel cielo si è estesa in modo corrispondente, e giunse ad un tempo ad un grado di precisione che non si poteva sperare nei tempi antichi. Le posizioni di tutte le stelle principali nell'emisfero settentrionale e di un gran numero nell'australe, sono ora conosciute con tanta esattezza da far scoprire infallibilmente qualunque vero movimento possa esistere fro loro, come avvenne in moltissimi casi, alcuni dei quali sono particolarmente notevoli.

311. Tuttavia egli è soltanto da un tempo compa-

rativamente recente che si è fatta qualche attenzione alle picciole stelle, fra le quali non si può dubitare che tosto o tardi non vengano in luce i più interessanti ed istruttivi fenomeni. Il minuto esame di esse per mezzo di potenti telescopi e di delicati stromenti per la determinazione dei loro luoghi ha già prodotto cataloghi immensi e masse d'osservazioni nelle quali migliaia di stelle invisibili all'occhio nudo sono registrate; ed ha condotto alla scoperta d'innumerevoli fatti importanti e curiosi, rivelando l'esistenza di classi intiere di oggetti celesti, di una natura così maravigliosa da offrire un campo di specolazione illimitata sull'estensione e sulla struttura dell'universo.

312. Fra questi, ciò che forse è più rimarchevole, sono le stelle doppie giranti, o stelle che all'occhio nudo o a telescopi minori appaiono una stella sola; ma se sono esaminate con istromenti che ingrossino grandemente, si veggono consistere di due individui posti quasi in contatto fra loro, e che, accuratamente osservati, sono in molti casi veduti girare in orbite ellittiche regolari l'uno intorno dell'altro, e, per quanto si è potuto verificare, obbedire alle stesse leggi che regolano i movimenti planetari. Non vi è nulla che possa dare una più grandiosa idea della scala su cui i cieli siderei sono costrutti, che questi bellissimi sistemi. Quando veggiamo corpi così magnifici uniti a coppie, indubitatamente dallo stesso vincolo di gravitazione mutua che mantiene insieme il nostro sistema, e rivolgentisi nelle loro enormi orbite in periodi che comprendono molti secoli, è forza confessare ch'essi debbono nella creazione compiere disegni che

rimarranno per sempre sconosciuti all'uomo; e che abbiamo qui toccato un punto nella scienza in cui l'intelletto umano è costretto a riconoscere la sua debolezza, e a sentire che niun concepimento suggerito dalla più sfrenata imaginazione può menomamente paragonarsi con l'intrinseca grandezza del soggetto.

Geologia.

313. Le ricerche dell'astronomia fisica sono chiaramente impotenti a farci risalire all'origine del nostro sistema, o ad un'epoca in cui il suo stato fosse in qualche parte essenziale diverso da ciò che è adesso. Per quanto si estendono le cause adesso operanti, e per quanto i nostri calcoli ce ne fanno stimare gli effetti, siamo egualmente incapaci di scorgere nei fenomeni generali del sistema planetario tanto la prova di un principio quanto l'aspettazione di un fine. I geometri, come abbiamo già detto, hanno dimostrato che in mezzo a tutte le alterazioni che potessero aver luogo negli elementi delle orbite dei pianeti, per ragione della loro mutua attrazione, il generale equilibrio delle parti del sistema sarà sempre conservato, ed ogni deviamento da uno stato medio periodicamente compensato. Ma nè le ricerche dell'astronomo fisico, nè quelle del geologo ci danno alcun fondamento di riguardare il nostro sistema o il globo che abitiamo, come fatti per durare eternamente. Al contrario vi sono circostanze nella costituzione fisica del nostro pianeta che, oscuramente almeno, accennano ad un'origine e ad una formazione, quantunque remota; po-

sciachè è stato trovato che la figura della terra non è globosa ma ellittica, e che la sua attrazione è tale che ci obbliga ad ammettere il suo interno essere più denso dell' esterno, e la sua densità crescere con qualche grado di regolarità dalla superficie andando verso il centro, e *ciò a strati* ellitticamente disposti intorno a questo; circostanze che non sembrano poter accadere senza una successiva deposizione di materiali, tale da permettere che la pressione fosse propagata con un certo grado di libertà da una parte della massa ad un'altra, quand'anche dubitassimo di ammettere uno stato di primitiva fluidità.

314. Ma da queste indicazioni non si può conchiudere nulla di distinto; e se vogliamo specolare con qualche probabilità su di uno stato primitivo o lontano del nostro globo e sulla successione di avvenimenti che di tempo in tempo possono aver mutata la condizione e la forma della sua superficie, dobbiamo ristrignere le nostre ricerche dentro limiti assai meno estesi, ed a soggetti molto più adattati alla nostra capacità, che non sono la creazione del mondo e il modo con cui ha assunto la sua presente figura. Queste, per verità, erano le predilette specolazioni di una generazione di geologi ora estinta; ma la scienza medesima ha da mezzo secolo subito un cambiamento totale di carattere, e finalmente è stata pur essa fatta degna d'entrare nel numero delle scienze induttive. I geologi non confondono più adesso le loro imaginazioni con istrane teorie sulla formazione del globo dal caos, o sul suo passaggio per una serie di trasformazioni ipotetiche, ma attendono piuttosto ad un accurato e di-

ligente esame delle memorie del suo antico stato, che trovano indelebilmente impresse nei gran lineamenti della sua presente superficie, ed alle prove di vita e di abitazione in tempi remoti, che gli avanzi organici rinchiusi e conservati nel suo seno indubitatamente presentano.

315. Le memorie di questo genere non sono nè poche nè vaghe; e sebbene l'antiquato loro linguaggio, quando cerchiamo d'interpretarle troppo minutamente, possa condurre, e sovente conduca ad errori, tuttavia il suo senso generale è il più delle volte piano e soddisfacente. Queste memorie c'insegnano in termini troppo chiari perchè siano frantesi, che tutte o quasi tutte le presenti nostre terre e i continenti erano anticamente al fondo del mare, dove ricevevano depositi di materiali provegnenti dal consumo e dallo sfacimento di altre terre non più esistenti, e somministravano ricettacoli agli avanzi di animali marini e di piante abitanti l'oceano, come pure a somiglianti spoglie della terra trascinate dalle acque nel suo seno.

316. Questi avanzi vengono di quando in quando in luce; e il loro esame ha prodotto una prova indubitabile dell'antica esistenza di uno stato di natura animata assai diverso da quello che ora si vede sul globo, e di un'epoca anteriore a quella in cui divenne abitazione dell'uomo, o per dir meglio, di una serie di epoche di durata incognita, nelle quali la terra e il mare erano fecondi di forme di vita animale e vegetale che successivamente sparirono e diedero luogo ad altre, e questi di bel nuovo a novelle razze sempre più avvicinantisi a quelle che adesso vi abitano, e fi-

nalmente comprendenti specie che sino ai nostri tempi si veggono propagate.

317. Queste reliquie di un antico stato della natura così maravigliosamente conservate (come antiche medaglie ed iscrizioni nelle rovine d'un impero) sono una specie di rozza cronologia, coll' aiuto della quale i successivi depositi degli strati in cui si trovano, possono essere divisi in epoche più o meno definitamente limitate, e ciascuna di esse caratterizzata da qualche peculiarità che ci fa riconoscere i depositi di ciascun periodo in qualunque parte del mondo siano trovati. E da quanto si è sin qui investigato, l'*ordine* di successione in cui questi depositi furono fatti, appare essere stato lo stesso in ogni parte del globo.

318. Molti degli strati che portano segni evidenti di essere stati depositati al fondo del mare ed erano necessariamente orizzontali, sono adesso veduti in una posizione grandemente inclinata all' orizzonte ed anche talora verticale. E spesso mostrano nelle loro piegature e nelle rotture, nel disgiungimento di parti che una volta erano contigue, e nell' esistenza di vaste collezioni di rottami, chiari segni e prove manifeste di gran violenza seguita nel produrre una parte almeno dei cambiamenti avvenuti.

319. Oltre alle rocce che portano questa testimonianza interna di depositi sottomarini, ve ne sono molte che non offrono alcuna prova di questa fatta, ma al contrario hanno tutta l'apparenza di dover la loro origine a volcani o a qualche altro modo di azione ignea; e in ogni parte del mondo, e fra strati di ogni età, occorrono prove così abbondanti di quest'azione

e in tanta copia, da indicare il volcano e il terremuoto come agenti che possono aver avuto parte nella produzione di quei cambiamenti di livello e di quelle violente separazioni che vediamo essere accadute.

320. Nel render ragione di questi cangiamenti, i geologi oramai non hanno più ricorso, come prima, a cause puramente ipotetiche siccome ad una mutazione dell'asse di rotazione della terra che abbia portato il mare ad inondarla per una sostituzione del lungo al breve diametro della figura sferoidale, nè a maree prodotte dall'attrazione di comete subitamente avvicinatesi a picciola distanza dalla terra, nè ad altre fantastiche ed arbitrarie ipotesi; ma piuttosto procurano di ristringersi ad una diligente considerazione di cause evidentemente operanti di presente, col disegno di riconoscere, in primo luogo, sino a qual punto sono capaci di spiegare i fatti osservati, e quindi di porre legittimamente sott' occhio, come fenomeni-residui, quegli effetti che non possono essere dichiarati. Quando questo sarà stato in qualche parte eseguito, potremo pronunziare, con maggior sicurezza che non adesso, intorno alla necessità di ammettere una lunga successione di tremende e devastatrici catastrofi e cataclismi, — epoche di confusione terrifica e di violenza che molti geologi, forse giustamente, riguardano come indispensabili alla spiegazione delle forme presenti del mondo. Impareremo allora a distinguere gli effetti che per la loro produzione richieggono la subita applicazione di sforzi convulsivi e dirompenti, da quei cambiamenti forse non meno estesi che possono essere stati prodotti da forze eguali o più

potenti ancora, ma operanti con minore irregolarità e così distribuite nei tempi da produrre nessuno di quegl'*interregni* di confusa anarchia che siamo inclinati a riguardare, forse erroneamente, quai gran deturpamenti di un ordine così bello ed armonico come è quello della natura.

321. Ma lo stimare giustamente gli effetti di cause adesso operanti in gelogia non è facile assunto. Non vi è modo deduttivo o a *priori* di poter stimare la quantità dell'annuo corrodimento, per esempio, di un continente per l'azione di agenti meteorici, quali sono la pioggia, il vento, il gelo ecc., nè l'ammontare della distruzione prodotta sulle sue coste dalla diretta violenza del mare, nè la quantità di lava gettata fuori annualmente dai volcani su tutta la superficie della terra, nè alcun altro simile effetto. E consultare su tutti questi punti la sperienza, è un metodo lento e faticoso se si vuol essere accurato, e fallacissimo quando sia soltanto parzialmente eseguito. Molto adunque debbe ora lasciarsi all'opinione e a quella sorta di tatto discernitore che alcune volte tocca il segno prima della sperienza; ma questo non ha da impedire che per noi si facciano tutti gli sforzi possibili per acquistare cognizioni esatte su quei punti, che soli possono rendere la geologia, se non una scienza sperimentale, almeno di quel genere di osservazione attiva che maggiormente le si avvicina, quando l'attuale sperimento è impossibile.

322. Prendiamo, per esempio, la questione « qual è l'attuale direzione nella quale cambiamenti di livello relativo vanno operandosi fra le terre ed i mari

esistenti? » Se consultiamo una sperienza parziale, vale a dire, *tutte* le cognizioni che abbiamo intorno agli antichi limiti del mare, agli scandagli ecc., ci troveremo soltanto confusi da una massa di contraddicenti, perchè imperfette, testimonianze. Egli è ovvio che il solo mezzo di decidere la questione è di verificare, con osservazioni precise ed accurate in luoghi adattati sulle coste, scelti dove esistono segni naturali non soggetti a cambiare nel corso almeno di un secolo, quale sia la vera elevazione di tali segni al di sopra del livello medio del mare, moltiplicando sufficientemente queste stazioni su tutto il globo per poterne ricavare una vera ed utile conoscenza. Ma questa non è un'operazione troppo facile, considerando l'accuratezza richiesta; poichè il livello *medio* del mare non può essere determinato da poche osservazioni, come non si può determinare in egual modo l'altezza media del barometro ad una data stazione, essendo soggetto all'influenza tanto delle variazioni periodiche quanto delle accidentali cagionate dalle maree, dal vento, dalle onde e dalle correnti. Tuttavia se si fabbricasse uno stromento adattato a quest'oggetto che potesse facilmente mettersi in uso, e se si spiegassero accuratamente le regole da seguirsi nell'adoperarlo, non è da dubitarsi che presto (per diligenza di osservatori sparsi in tutto il mondo) possederemmo una preziosa massa di cognizioni, che non mancherebbero di offrire un punto di partenza alla vegnente generazione, servendo di base alla sola specie di argomento che possa mai essere conclusivo in queste materie.

323. La geologia per la grandezza e per la sublimità degli oggetti di cui tratta, nell'ordine delle scienze, prende certamente posto presso l'astronomia; e come questa i suoi progressi dipendono dalla continua accumulazione di osservazioni proseguite per una serie di secoli. Ma diversa in questo dall'astronomia, le osservazioni dalle quali dipende, quando si considera tutta l'estensione del soggetto da esplorarsi, possono appena dirsi incominciate. Tuttavia per compenso vi è questa differenza importante che mentre nell'una egli è impossibile di richiamare il passato o d'entrare anticipatamente nel futuro, e per conseguenza l'osservazione è limitata ad un sol fatto in un sol momento, nell'altra le memorie del passato sono sempre presenti, possono essere esaminate e riesaminate quante volte ci piace, e null'altro richiedono se non diligenza e criterio per metterci al possesso dei fatti che contengono. Una picciolissima parte soltanto della superficie del nostro globo è sin qui stata diligentemente esaminata nei suoi particolari, e di questa picciola porzione non possiamo far altro che razzolare alla superficie, poichè null'altro sono quegli scavamenti che a noi paiono esplorazioni delle viscere della terra, — le più profonde miniere che si siano scavate penetrando appena oltre la diecimillesima parte della distanza tra la superficie della terra e il suo centro. Necessariamente induzioni formate su di un esame così limitato possono soltanto essere riguardate come provvisionali, tranne in quei casi rimarchevoli nei quali le stesse gran formazioni, disposte nello stesso ordine, sono state riconosciute in luoghi

assai lontani l'uno dall'altro e senza eccezione. Tuttavia questo non può durar lungamente. L'ardore col quale questo soggetto venne studiato per molti anni nel nostro paese, è stato rimunerato con una messe così ricca di sorprendenti ed inaspettate scoperte, ed ha fatto investigare la nostr'isola così minutamente, che un corrispondente ardore si è manifestato fra i nostri vicini del continente; mentre lo stesso zelo che anima i nostri compaesani nella loro terra natia, gli accompagna nel loro soggiorno all'estero ed ha già cominciato a somministrare un capitale di cognizioni relativamente alla geologia del nostro impero delle Indie, come di ogni altro punto dove l'intelletto e le ricerche inglesi possono penetrare.

324. Nulla è tanto da desiderarsi quanto che ogni possibile facilità ed incoraggiamento siano pòrti a tali ricerche, ed agli studi di ogni individuo illuminato, sì tra i residenti all'estero che tra i viaggiatori, in ogni parte della scienza, da coloro che rappresentano l'autorità nostra nazionale dovunque il nostro potere si stende. Per questi studi soli la nostra conoscenza dell'attuale stato della superficie del globo, e degli animali e dei vegetali dei continenti e dei mari antichi, può estendersi e perfezionarsi; mentre una più compiuta cognizione che non possediamo al presente della natura di quelli che esistono, e dell'influenza dei cambiamenti di clima, di alimento, e di circostanze su di loro, porgeranno un aiuto essenziale alle nostre specolazioni intorno alle specie che si sono estinte.

CAPITOLO IV

Dell' esame dei costituenti materiali del mondo.

Mineralogia.

325. Lo studio della storia e della struttura del nostro globo e l'esame dei fossili contenuti ne' suoi strati, ci conducono naturalmente a considerare i materiali che lo compongono. La storia di questi materiali, le loro proprietà come oggetti d'investigazioni filosofiche, e la loro applicazione alle arti utili ed ai diletti della vita, coi caratteri dai quali possono essere con certezza distinti l'uno dall'altro, formano l'oggetto della mineralogia presa nel suo senso più esteso.

326. Nessun'altra parte di scienza presenta come questa tanti punti di contatto con altre divisioni di ricerche fisiche, e com'essa serve di anello fra tanti punti lontani di filosofica specolazione. Al geologo, al chimico, all'ottico, al cristallografo, al fisico, offre specialmente i veri elementi dei loro studii, ed un campo per molte delle loro più belle e più importanti investigazioni. Nè, dalla chimica in fuori, ve n'ha alcuna che sia passata per più rivoluzioni o si sia mostrata sotto una maggior varietà di forme. Appena si

può dire che gli antichi la conoscessero, e sino ad un'epoca comparativamente recente nulla poteva essere più imperfetto delle sue descrizioni, nulla più mancante di artifizio e meno naturale della sua classificazione. I minerali più importanti nelle arti, quelli che sono impiegati ad usi economici, o da cui si estraggono i metalli, erano soggetto di attenzione sino ad un certo grado per ragione della loro utilità e del loro valore commerciale, e le pietre preziose perchè servivano d'ornamento. Ma finchè le loro forme cristalline non furono attentamente osservate e mostrate essere caratteri determinati su cui si poteva far fondamento, nessun mineralogista avrebbe saputo dare esatta ragione della vera distinzione fra un minerale ed un altro.

327. Tuttavia si fu soltanto quando l'analisi chimica ebbe acquistato un certo grado di precisione e di applicabilità universale che l'importanza della mineralogia, come scienza, cominciò ad essere riconosciuta e che la connessione tra i caratteri esterni di una pietra e gl'ingredienti che la compongono fu distintamente notata. Fra questi caratteri niuno fu per altro trovato che fosse distinto in modo così eminente come le forme cristalline; carattere altamente geometrico ed offerente, come ben si può supporre, la più evidente prova della sua necessaria connessione con l'intima costituzione della sostanza. Ciò non di meno tutta l'importanza di questo carattere non fu sentita finchè la sua connessione con la struttura o sfaldamento di un minerale non fu mostrata, ed anche allora ci vollero molti e sorprendenti esempi del discer-

nimento critico di Haüy e di altri eminenti mineralogisti nel predire, dal misuramento degli angoli di cristalli che erano stati confusi insieme, che si troverebbero esistere differenze nella loro composizione chimica, il che tutto fu pienamente provato dai risultamenti prima che il pregio essenziale di questo carattere fosse riconosciuto. Questo era senza dubbio in gran parte dovuto all' alta importanza data dai mineralogisti tedeschi a quei caratteri esterni di tatto, vista, peso, colore ed altre qualità sensibili che, dal peso in fuori, non possono gran fatto essere con esattezza determinati, e vanno soggetti a variazioni essenziali nei differenti saggi del medesimo minerale. Per gradi, tuttavia, la necessità di attribuire un gran peso ad un carattere così definito fu ammessa, specialmente quando si ebbe considerato che lo stesso passo, il quale manifestò l'intima connessione della forma esterna coll'interna struttura, dava al mineralogista i mezzi di ridurre tutte le forme che un minerale può prendere ad un tipo generale, o forma primitiva, e porgeva fondamento ad una leggiadra spiegazione teorica della formazione di figure definite *ab initio.*

328. Una semplice e bella invenzione del Dr. Wollaston, — il goniometro riflessore — diede un nuovo impulso a quell'idea che fa della forma cristallina l'essenziale o primo carattere in mineralogia, col fare che, per mezzo dell' esame della menoma porzione di un cristallo rotto, sia in potere di ognuno di riconoscere e di verificare quell'importante carattere da cui l'identità di un minerale nel sistema di Haüy vien fatta

dipendere. L'applicazione di un metodo così pronto ed esatto rapidamente condusse ad importanti risultati e ad una distinzione ancor più sottile di specie minerali che non si fosse potuta fare per l'addietro; e la conferma di questi risultamenti per mezzo dell'analisi chimica, impresse loro un carattere scientifico e deciso, che hanno dappoi sempre conservato.

329. Intanto i progressi fatti nella chimica analisi avevano menato all'importante conclusione che ogni composto chimico atto ad assumere lo stato solido prende con esso una forma cristallina determinata; e i progressi della scienza ottica avevano mostrato che la forma cristallina fondamentale, almeno nel caso di corpi trasparenti, porta seco una serie di proprietà ottiche non meno singolari che importanti relativamente alle modificazioni della luce nel suo passaggio a traverso tali sostanze. Così sotto ogni aspetto si aggiungeva importanza a questo carattere; e lo studio delle forme cristalline dei corpi prese in generale la qualità di ramo di scienza separato e indipendente, di cui le forme geometriche del mondo minerale non furono altro che un caso particolare. La mineralogia, come parte di storia naturale, rimane tuttavia distinta e dall'ottica e dalla cristallografia. Il mineralogista è pago, e crede di aver fatta la parte sua, se non come storico naturale almeno come classificatore e ordinatore, quando è giunto a dare una descrizione così caratteristica di un minerale che lo distingua efficacemente da ogni altro, e metta chiunque incontri un simil corpo in qualunque parte del mondo in grado di dargli il suo nome, assegnargli un luogo nel suo siste-

ma, e ricorrere a' suoi libri per un' ulteriore descrizione di tutto ciò che il chimico, l'ottico, il lapidario o l'artista hanno bisogno di sapere. E questa non è pur cosa facile; le laboriose ricerche dei più valenti mineralogisti non possono ancora dirsi averla veramente eseguita; e la sua difficoltà può essere stimata dal picciol numero di minerali semplici, o minerali di caratteri perfettamente definiti e ben distinti, che sin ora si sono descritti. Nè v'è da maravigliarsene quando consideriamo che la massima parte delle rocce e delle pietre che compongono la crosta esterna del globo non sono altro che un *detritus* accumulato di rocce più antiche, in cui i frammenti e la polvere di un' infinita quantità di sostanze varie sono mescolate insieme in ogni sorta di proporzioni varianti e in un modo tale da rendere inutile un tentativo di separazione. Molte di queste rocce in tal maniera composte s'incontrano tuttavia con sufficiente frequenza ed uniformità di carattere perchè abbiano acquistato nomi e siano state utilmente impiegate; anzi per questo rispetto, i minerali di questa sorta sono di gran lunga superiori a tutti gli altri. Come oggetti adunque di storia naturale sono degnissimi di attenzione, benchè sia difficile di assegnar loro un posto in una classificazione artifiziale.

330. Questa pochezza di minerali semplici è tuttavia forse più apparente che reale, e in proporzione che le ricerche del chimico e del cristallografo si saranno estese per tutta la natura, essi diverranno senza dubbio più numerosi. E per verità nelle grandi officine della natura, non è da dubitarsi che non si fac-

cia quasi ogni specie di operazione chimica, e che composti d'ogni qualità non vengano quindi continuamente a formarsi. Epperò si osserva che le lave e le scorie gettate fuori dai volcani sono ricettacoli in cui costantemente si scoprono prodotti minerali dapprima sconosciuti, e che le formazioni primitive, come si chiamano in geologia, le quali non mostrano segni di essere state prodotte dalla distruzione di altre, sono pure rimarchevoli per la bellezza e pel carattere distinto dei loro minerali.

331. La gran difficoltà che si è incontrata nei tentativi di classificare le sostanze minerali secondo i loro costituenti chimici, è provenuta dall'aver osservato che in alcuni saggi di minerali aventi quella generale somiglianza per altri rispetti, e quelle uniformità che sembrerebbero doverli far riguardare come della medesima specie, v'ha la presenza d'ingredienti stranieri alla solita composizione della specie, e ciò talvolta in sì gran proporzione da non potersi ragionevolmente credere l'effetto d'impurità accidentali. Questi casi, ed alcune anomalie osservate nella classificazione di minerali secondo le loro forme cristalline, le quali sembravano mostrare che le stesse sostanze potessero talora apparire sotto due forme distinte, come pure alcune notevoli coincidenze tra le forme di sostanze totalmente distinte l'una dall'altra in un punto di vista chimico, hanno da poco tempo fatto sorgere un ramo curioso ed importante della scienza della cristallografia. L' *isomorfismo* di certi gruppi di elementi chimici ci ha già pòrto un esempio illustrativo della maniera nella quale le induzioni sono

qualche volta inaspettatamente verificate (V. § 180). Le leggi e le relazioni così rilevate sono tra le più belle parti della scienza moderna, e sembrano dovere nel loro sviluppo ulteriore offrire un vasto campo all'esercizio delle ricerche chimiche e mineralogiche. Già hanno presentato una serie innumerevole di begli esempi di quel passo importante nella scienza per cui le anomalie spariscono e le accidentali incongruenze si conciliano sotto espressioni più generali di leggi fisiche, e così concorrono a rinforzare quelle stesse teorie che, quando furono primamente osservate, parevano dover atterrire. Niente in fatto sorprende maggiormente che il vedere quel medesimo ingrediente che tutti i chimici e tutti i mineralogisti andavano d'accordo nel disprezzare e nel rigettare come una semplice impurità casuale, essere chiamato in sostegno di una teoria espressamente diretta all'oggetto di difendere la scienza dall'imputazione di trascurare in alcuna circostanza i manifesti risultamenti di una diretta esperienza.

Chimica.

332. Le leggi concernenti all'intima costituzione dei corpi, non in ciò che riguarda la loro *struttura* o la maniera in cui le loro parti sono poste insieme, ma in quanto riflettono i loro *materiali* o gl'ingredienti di cui queste parti sono composte, sono l'oggetto della chimica. Un corpo solido può essere riguardato come un edifizio più o meno regolarmente ed artifizialmente costrutto, nel quale i materiali e la forma possono es-

sere separatamente considerati, ed in cui, sebbene questa sia rovinata e confusa dalla violenza, gli altri rimangono inalterati nella loro natura, benchè diversamente disposti. Nei corpi liquidi od aerei, quantunque vi sia una minor differenza in fatto di struttura ed una maggior facilità di disperdimento che nei solidi, sussiste tuttavia un'eguale diversità di *materiali* i quali danno loro proprietà assai diverse le une dalle altre.

333. L'attività inerente della materia è provata non solamente dalla produzione del moto per le mutue attrazioni e repulsioni di masse lontane o contigue, ma eziandio dai cambiamenti e dalle trasformazioni apparenti cui diverse sostanze vanno soggette nelle loro qualità sensibili pel solo mescolarsi. Se si aggiunga acqua ad acqua, o sale a sale, l'effetto sarà un aumento di quantità ma non un cambiamento nella qualità. In questo caso l'azione mutua delle particelle è intieramente meccanica. Che se una polvere turchina ed un'altra gialla, perfettamente asciutte, saranno mescolate e bene scosse insieme, una polvere verde verrà ad essere prodotta; ma questo è un mero effetto cagionato nell'occhio dall'intima mescolanza della luce gialla e della turchina separatamente e indipendentemente riflesse dalle minute particelle delle due polveri: e se ne ha la prova in questo che nell'esaminare la mescolanza col microscopio, si trova che i granelli gialli e turchini sono separati e non hanno sofferto alterazione. Se lo stesso sperimento vien fatto con liquidi colorati atti a mescolarsi senza azione chimica, si produce parimente un colore composto, ma

nessun esame di microscopio è allora capace di scoprire gl'ingredienti; e la ragione ovvia n'è la minutezza eccessiva delle parti, e la loro perfetta confusione, prodotta dall'agitare dei due liquidi insieme. Nella mescolanza delle due polveri una pazienza infinita potrebbe separare gl'ingredienti scernendo granello da granello coll'aiuto di un microscopio. Ma quando si fa una mescolanza di liquidi, nessuna separazione meccanica diviene praticabile; le particelle sono così minute da sfuggire ad ogni ricerca. Tuttavia questo non c'impedisce di riguardare una tale composizione come niente più di una mera mescolanza, e le sue proprietà sono per conseguenza intermediarie fra quelle dei liquidi mescolati. Ma questo non accade in tutti i liquidi. Quando una soluzione di potassa, per esempio, ed un'altra di acido tartarico, ambe perfettamente liquide, sono mescolate insieme in date proporzioni, una gran quantità di una sostanza salina solida cade al fondo del recipiente, la quale è affatto diversa dalla potassa e dall'acido tartarico, e il liquido dal quale si deposita non offre indizio, nè dal gusto nè da altra sensibile qualità, degli ingredienti mescolati, ma di un non so che totalmente diverso da quelli. Egli è evidente che questo è un fenomeno tutto differente da quello della semplice mescolanza; un gran cangiamento radicale è seguito nell'intima natura degl'ingredienti per cui è prodotta una sostanza novella che prima non esisteva. E questo cangiamento è stato prodotto dall'*unione* degl'ingredienti posti in contatto l'uno coll'altro; poichè da un esame si ricava che nulla è stato *perduto*, il peso di tutta la mistura es-

sendo la somma dei pesi mescolati. Tuttavia la potassa e l'acido tartarico sono intieramente spariti, e il peso del nuovo prodotto si trova esattamente eguale a quello dell'acido tartarico e della potassa presi insieme, tranne una picciola porzione rimasta in soluzione nel liquido, che si può ottenere per mezzo della svaporazione. Essi si sono dunque combinati e stanno uniti e coerenti l'uno all'altro con una forza sufficiente a formare un solido da un liquido; forza posta in azione dal solo presentarli l'uno all'altro in uno stato di soluzione.

334. Egli appartiene alla chimica l'investigare questi ed altri simili cambiamenti, o il contrario di questi quando una sola sostanza si risolve in due o più, aventi proprietà diverse da quella, e fra se stesse, e il pesare tutte le circostanze che vi possono influire, e che determinano, modificano, o sospendono la loro operazione, sia che quest'influenza sia effetto del calore o del freddo, del tempo e del riposo, dell'agitazione o della pressione, o di qualunque altro degli agenti di cui abbiamo acquistato una conoscenza, quali sono l'elettricità, la luce, il magnetismo, ecc.

335. Le maravigliose e subite trasformazioni operate dalla chimica, la violenta attività spesso mostrata da sostanze ordinariamente considerate come le più inerti e le più pigre, e sopra tutto il lume che ne ricaviamo sulla natura d'innumerevoli operazioni che vediamo farsi ogni giorno intorno a noi, hanno contribuito a renderla la più popolare, come è una delle più utili fra le scienze; epperò non ne troveremo alcuna che nello scorso secolo abbia progredito con un

vigore così straordinario, e che abbia influito tanto a promuovere in altre un progresso corrispondente. Una delle principali cause della sua popolarità è per avventura da cercarsi in questo, che di tutte le scienze ella è forse la più compiutamente sperimentale; e le sue stesse teorie sono per la maggior parte di quella specie generalmente intelligibile e facilmente applicabile, che non richiede un'intensa concentrazione di pensiero, e non mena ad alcuna profonda ricerca matematica. Il semplice metodo di generalizzazione induttiva, fondata sull'esame di fatti numerosi, tutti offerenti un considerevole interesse intrinseco, è bastato nella maggior parte dei casi a condurre per una via piana e diretta alle sue più alte leggi conosciute. Per altra parte queste leggi, quando sono stabilite, non sono ancora pienamente sufficienti a guidarci, salvo in casi assai limitati, ad una conoscenza deduttiva di particolari non ancora esaminati; o almeno non è da farne uso senza una gran prudenza e senza ricorrere costantemente allo sperimento quasi freno al nostro raziocinio. Cosicchè possiamo giustamente riguardare gli *assiomi* della chimica, queste vere chiavi del raziocinio deduttivo, come ancora sconosciuti e tali da rimaner forse per lungo tempo ignorati. Nè questo è da attribuirsi a colpa de' suoi coltivatori nel cui numero furono e sono uomini del più alto e del più vario ingegno e di pari perseveranza, ma all'inerente complessità del soggetto, e all'infinita moltitudine di cause che nella chimica concorrono alla produzione di ogni, benchè semplicissimo, fenomeno.

336. La storia della chimica (sulla quale tuttavia

non ci diffonderemo) è piena di attrattive per coloro che si dilettano a noverare i passi coi quali il genere umano cammina alla scoperta del vero per una serie d'errori e di cattivi successi. Essa può dividersi, 1° nell'epoca degli alchimisti, lamentevole negli annali delle aberrazioni intellettuali; 2° in quella delle dottrine flogistiche di Beccher e di Stahl in cui, quasi a provare l'infermità della mente umana, di due strade che sole si offrivano la cattiva fu scelta, ed una teoria venne universalmente creduta sulla fede di nomi celebri, di supposizioni ingegnose e di sperimenti non abbastanza precisi, che poi fu trovata falsa *in ogni caso*, quando si ricorse alle prove. Questo pure accadde non per ragione di sfortunate coincidenze o di sbagli individuali, ma per necessità e per un difetto inerente della stessa teoria, che impedì i progressi della scienza (per quanto una scienza di sperimento può essere impedita da una falsa teoria) coll'imbarazzare i suoi coltivatori con l'apparenza di contraddizioni nei loro sperimenti dove niuna realmente ve n'esisteva, col distruggere tutta la loro confidenza nell'esattezza numerica dei loro stessi risultati, e coll'avviluppare il soggetto in una nebbia di cause visionarie ed ipotetiche in luogo dei veri principii operanti. Così nella combustione di qualunque sostanza incapace di risolversi in fumo si riconosce un aumento di peso, — le ceneri essendo più pesanti che il combustibile. Quantunque volte questo fu veduto, non vi si fece tuttavia attenzione, riputandolo dovuto allo sprigionamento del flogisto, o principio d'infiammabilità, che si considerava essere o l'elemento del

fuoco medesimo, o in qualche modo combinato con esso, e quindi essenzialmente *luce.* Si sa ora che l'accrescimento di peso procede dall'assorbimento e dalla combinazione di una quantità di un ingrediente peculiare chiamato *ossigeno*, tratto dall'aria, principio essenzialmente *pesante.* Per ciò che riguarda al peso non importa se un corpo dotato di gravità sottentra, od uno distinto per leggerezza si sprigiona; ma v'è questa palpabile differenza sotto un punto di vista filosofico, che l'ossigeno è una sostanza vera e producibile, e che il flogisto non è tale; che il primo è una *vera causa*, mentre il secondo è un essere ipotetico, introdotto per ispiegare ciò che l'altro spiega assai meglio.

337. La terza epoca della chimica — quella che può chiamarsi enfaticamente chimica moderna — cominciò (nel 1786) quando Lavoisier, con una serie di sperimenti memorabili, distrusse per sempre quest'errore e pose la chimica nel numero delle scienze esatte, — come scienza di numero, peso e misura. Da quel tempo sino al giorno presente essa progredì sempre con passo accelerato, e a questo momento può riguardarsi come più progressiva che mai. I principali caratteri di questo progresso possono essere compresi sotto i capi generali che seguono:

1° La scoperta degli elementi prossimi, se non finali di tutti i corpi, e l'allargamento della lista degli elementi conosciuti fino al presente numero di circa cinquanta o sessanta sostanze.

2° Lo sviluppo della dottrina del calore latente di Black, con la sua serie d'importanti conseguen-

ze, inchiusa la teoria scientifica della macchina a vapore.

3° Lo stabilimento della legge di Wenzel delle proporzioni definite fondata sui suoi propri esperimenti e su quelli di Richter; scoperta che poscia venne a confondersi nella maggiore generalità della teoria atomica di Dalton.

4° La determinazione precisa dei pesi atomici dei diversi elementi chimici, principalmente dovuta alla maravigliosa diligenza di Berzelius, ed alla sua impareggiabile perizia dei mezzi chimici, come pure alle ricerche degli altri chimici delle scuole svezzese e tedesca, e dal nostro compaesano il Dr. Thomson.

5° L'assimilazione dei gassi e dei vapori, per cui siamo indotti a riguardare i primi, universalmente, come casi particolari dei secondi; generalizzazione risultante principalmente dagli sperimenti di Faraday sulla condensazione dei gassi, e da quelli di Gay Lussac e di Dalton sulle leggi della loro espansione per via del calore paragonata con quella dei vapori.

6° Lo stabilimento delle leggi della combinazione dei gassi e dei vapori per definiti volumi, di Gay Lussac.

7° La scoperta degli effetti chimici dell'elettricità, e dell'azione decomponente della pila voltaica, di Nicholson e Carlisle; l'investigazione delle leggi di tali decomposizioni di Berzelius e di Hisinger; la decomposizione degli alcali di Davy, e la successiva introduzione nella chimica di nuovi e poderosi agenti nelle loro basi metalliche.

8° L'applicazione dell'analisi chimica a tutti gli

oggetti della natura organica ed inorganica; la scoperta dei costituenti finali di tutti e dei prossimi della materia organica, e la ricognizione delle distinzioni importanti che paiono dividere queste gran classi di corpi le une dalle altre.

9° Le applicazioni della chimica ad innumerevoli operazioni nelle arti e, fra gli altri utili oggetti, alla scoperta dei principii medici essenziali dei vegetali, e ad importanti medicamenti nel regno minerale.

10° Lo stabilimento della connessione intima tra la composizione chimica e la forma cristallina di Haüy e Vauquelin, con le rettificazioni successive che l'espressione di questa connessione ha provate per mezzo di Mitscherlich, Rose ed altri, col progresso delle cognizioni chimiche e cristallografiche.

338. L'esaminare questi vari articoli minutamente sarebbe lo stesso che fare un trattato di chimica; ma poche osservazioni su di uno o due di essi, in quanto hanno relazione coi principii generali di tutta l'inquisizione scientifica, non saranno inopportune. E primamente per riguardo alla scoperta di nuovi elementi, si osserverà che la chimica filosofica non tende a determinare quell'unico elemento essenziale del quale tutta la materia è composta — quell'unico principio finale dell'universo — più che l'astronomia tenda a scoprire l'origine dei movimenti planetari nell'applicazione di una determinata forza di proiezione in una direzione determinata, o la geologia a salire alla creazione della terra. Può darsi che un tale elemento esista. Alcune relazioni singolari state indicate nei pesi atomici dei corpi sembrano suggerire alle menti

amiche della specolazione ch'esso esiste: ma la chimica filosofica è paga di aspettare qualche fatto importante, il quale o può occorrere inaspettatamente od essere suscitato dal lento progresso delle cognizioni a rivelarci la sua esistenza. Ciò non pertanto la moltiplicazione de' così detti corpi elementari è stata da taluni riguardata come inopportuna. Noi confessiamo che non siamo inclinati a entrare a parte di questa sentenza. Qualunque essi siano, l'ostinazione con cui resistono alla decomposizione, prova che sono ingredienti di un'altissima e primaria importanza nell'economia della natura; e tali che, in qualunque stato della scienza, sarebbe cosa indispensabile il conoscerli con perfetta familiarità. Simili ai teoremi particolari in geometria, che quantunque non arrivino al più alto grado di generalità, hanno tuttavia i loro diversi fini ed un'estesa applicaziene, è necessario ch'essi siano perfettamente intesi in tutte le loro parti. Che se arriveremo ad un'analisi di simili corpi, le proprietà chimiche dei nuovi elementi che verranno allora a manifestarsi saranno soltanto conosciute per mezzo della nostra conoscenza di questi, o di altri composti della medesima classe, che saranno atti a formare. E tuttochè quest'analisi fosse per essere importantissima, anzi un avvenimento stupendo che cambierebbe la faccia della chimica, tuttavia non distruggerebbe nulla di ciò che si è fatto, e non renderebbe inutile la menoma conoscenza sin'ora acquistata.

339. La teoria atomica o la legge di definite proporzioni che è la stessa cosa presentata sotto una forma spogliata di ogni ipotesi, dopo le leggi della mec-

canica, è forse la più importante che lo studio della natura abbia rivelata. La somma semplicità che la caratterizza, e che per se stessa è un indizio non equivoco del suo alto grado fra le fisiche verità, fu cagione che Dalton l'annunziasse a un tratto ne' suoi termini generali, dopo la contemplazione di pochi casi (1), senza passare per stazioni inferiori di una faticosa salita induttiva col mezzo di leggi subordinate, le quali, seguendo un corso contrario, sarebbero naturalmente state preparatorie, e avrebbero menato altri allo stesso segno proseguendo le ricerche di Wenzel e di Richter, se vi si fosse fatta la dovuta attenzione. Questo è, in fatto, un esempio, e certamente notevolissimo, dell' effetto di quella naturale propensione a generalizzare ed a semplificare (di cui si è parlato al § 171), la quale se talvolta conduce a troppo precipitate conclusioni, limitate poscia o distrutte da un'ulteriore sperienza, è tuttavia madre legittima di tutti i nostri più pregevoli e più fermi risultamenti. Casi come questo, in cui grandi, anzi immensi passi nella nostra conoscenza della natura, sono fatti ad un tratto e quasi senza sforzo intellettuale, debbono accrescere le nostre speranze del futuro progresso della scienza e, mostrandoci che le combinazioni più semplici e più ovvie sono quelle che si trovano concordar meglio coll'armonia della creazione, presentarci l'incoraggiante prospettiva di difficoltà che diminuiscono in proporzione che si progredisce, invece di addensarcisi intorno in una crescente complicazione.

(1) Thomson, Elementi di chimica, introduz.

340. Una conseguenza dell' immediata enunciazione della legge delle proporzioni definite nella sua forma più generale è questa che le sue leggi subordinate — quelle che limitano la sua generalità in casi particolari, che diminuiscono il numero di combinazioni astrattamente possibile, e ristringono l' indistinta mescolanza degli elementi, — rimangono ancora a scoprirsi. Alcune limitazioni di questa fatta sono bensì state rintracciate sino a un certo punto, ma non così oltre come l' importanza del soggetto richiede; e questo presenterà per qualche tempo ai chimici un abbondante soggetto di occupazione.

341. La determinazione dei pesi atomici degli elementi chimici, come quella di altri dati fisici di primo ordine, per esser fatta con la più scrupolosa esattezza, richiede un' investigazione che non solamente è della massima importanza, ma è pure di un' estrema difficoltà. Indipendentemente dalle ragioni generali per cui si desidera una grande accuratezza a questo riguardo, ve n' è una particolare al soggetto. È stato suggerito (dal Dr. Prout), e si è fortemente insistito (dal Dr. Thomson), che tutti i numeri rappresentanti questi pesi, i quali formano una lunga progressione, in cui gli estremi già noti stanno tra loro nella proporzione di 1 a più di 200, sono semplici moltipli pari del minimo di essi. Se questo fosse realmente vero, ne nascerebbero induzioni di tanta importanza da giustificare qualunque fatica intrapresa per la verificazione della legge come puramente induttiva. Ma nel presente stato dell' analisi chimica, col dovuto rispetto ad una così alta autorità, confessiamo

sembrarci che la cosa abbia bisogno di una maggiore conferma, perciocchè pare dubbioso se tanta accuratezza sia già stata ottenuta per cui si possa rispondere positivamente di una frazione non eccedente la trecentesima o quattrocentesima parte di tutta la quantità da determinarsi; per lo meno i risultati dei primi sperimentatori, ottenuti con la massima diligenza, spesso differiscono di una cifra maggiore; e questo grado di esattezza sarebbe, se non altro, indispensabile per verificare in modo soddisfacente la legge nelle parti più alte della progressione.

342. Tuttavia il solo agitarsi di una simile questione mostra una classe di fenomeni nella scienza fisica, di un genere remoto e singolare, e di un ordine altissimo e assai delicato, che non sarebbe possibile di conoscere se non in uno stato già maturo di scienza non solamente pratica ma teorica, — intendiamo parlare di quelli che consistono in relazioni osservate fra i *dati* della fisica, che li dimostrano essere quantità non *arbitrariamente* supposte, ma dipendenti da leggi e da cause che finalmente potranno per loro mezzo essere rivelate. Un esempio notevole di una tale relazione è la legge curiosa che Bode osservò aver luogo nella progressione delle grandezze delle diverse orbite planetarie. Questa legge si trovò interrotta fra Marte e Giove, cosicchè egli fu indotto a credere che un pianeta mancasse in quell' intervallo; — mancanza cui molto tempo dopo fu stranamente supplito dalla scoperta di *quattro* nuovi pianeti in quel medesimo intervallo, le cui orbite tutte si conformano in dimensione alla legge citata; con una differenza così picciola

che si può credere dovuta a cause indipendenti da quelle sulle quali la legge stessa è finalmente appoggiata.

343. Nè sarà fuor di luogo l'osservare che il progresso stato fatto in questa parte di chimica, e la considerevole esattezza cui si può giungere nella chimica analisi, sono in gran parte dovuti ad una circostanza che a primo tratto si poteva appena credere dovesse molto influire sul progresso di una scienza, — vale a dire alla scoperta del platino. Senza i mezzi che questo inestimabile metallo ha posto a disposizione dei chimici, è difficile l'imaginarsi che la moltitudine di delicati sperimenti analitici stati necessari per costruire l'edifizio del presente sapere, potessero essere eseguiti. Questo, fra tante altre simili lezioni, c'insegnerà che gli usi più importanti degli oggetti naturali non sono quelli che ci si presentano come i più ovvii. L'utilità principale della luna per gli oggetti immediati dell'uomo gli rimase sconosciuta per cinque mill'anni dalla sua creazione. E poichè non può essere che innumerevoli ed importantissimi usi non rimangano a scoprirsi fra i materiali e gli oggetti che ci sono già noti, come pure fra quelli che il progresso della scienza debbe quind'innanzi scoprire, possiamo nutrire una ben fondata espettazione, non solamente di un incremento costante nei mezzi fisici del genere umano, e di un necessario miglioramento della sua condizione, ma di continue forze aggiunte al nostro potere di penetrare negli arcani della natura e di conoscere le più sublimi sue leggi.

CAPITOLO V.

Delle forme non ponderabili della materia.

Calore.

344. Uno degli agenti primari nella chimica, dalla propria applicazione e dall'uso del quale dipende l'esito di un gran numero di ricerche, e di cui molte leggi importantissime ci sono rivelate da fenomeni di una natura chimica, si è il CALORE. Quantunque alcuni de' suoi effetti ci siano sempre dinanzi gli occhi come cosa di giornaliera occorrenza, tanto che appena esiste un'operazione nelle arti utili e nelle manifatture che non richiegga il suo intervento; quantunque indipendentemente da questa grande utilità e dalla proporzionale importanza di una conoscenza della sua natura e delle sue leggi, presenti in se stesso un soggetto di curiosissima specolazione; tuttavia non v'è quasi agente fisico di cui abbiamo una conoscenza così imperfetta, la cui intima natura sia più celata, o le cui leggi siano d'una così delicata e difficile investigazione.

345. La parola calore (1) generalmente si riferisce alla sensazione che proviamo avvicinandoci al fuoco,

(1) Si noti che la parola inglese *heat* significa ad un tempo *calore* e *calorico*. Vedendo siccome oggidì si suol fare promiscuamente uso dell' una e dell' altra espressione in italiano, noi abbiamo stimato di attenerci generalmente alla prima, rinunziando così ad una distinzione che non esiste nell'originale.—*Nota del Traduttore.*

ma nel senso che prende nella fisica, denota la causa, qualunque ella siasi, di quella sensazione e di tutti gli altri fenomeni che nascono dall' applicazione del fuoco o di qualsivoglia altra causa riscaldante. Saremmo grandemente ingannati se riguardassimo la sensazione sola come un' indicazione della presenza di questa causa. Molte di quelle cose che eccitano nei nostri organi e specialmente in quelli del gusto una sensazione di calore, traggono questa proprietà dagli stimolanti chimici e non dall' essere veramente *calde*. Quest' errore di giudizio ha prodotto una confusione corrispondente di linguaggio; quindi si erano altre volte (1) introdotte nella filosofia fisica moltissime conclusioni contrarie alla logica ed assurde. V' ha una quantità di agenti chimici che dal loro corrodere, annerire, e sciogliere o disseccare le parti di alcune specie di corpi, e dal produrre su di essi effetti generalmente non dissimili (sebbene intrinsecamente assai diversi) da quelli prodotti dal calore, in linguaggio inesatto e volgare si dicono *ardere;* e quest' errore si è persino radicato in pregiudizio, pel fatto che alcuni di questi agenti sono atti a divenire veramente *caldi* durante la loro azione sovra sostanze umide, per ragione della combinazione loro coll' acqua che queste contengono. Così la calce e l'olio di vitriolo esercitano amendue una potente azione corrosiva sulle sostanze animali e vegetali, ed entrambi divengono violentemente caldi combinandosi coll' acqua. Essi sono adunque considerati nel linguaggio volgare come so-

(1) *Novum organum*, parte II, tav. 2 (24) (30) ecc., sulla forma o natura del calore.

stanze di natura calda; invece che nelle loro relazioni colla causa fisica del calore non si dipartono dalla generalità dei corpi similmente costituiti.

346. La natura del calore è stata sin qui principalmente studiata sotto questi capi generali: —

1° Sue sorgenti, o fenomeni che ordinariamente accompagna.

2° Sua comunicazione dalle sue sorgenti a sostanze atte a riceverlo, e da queste ad altre, affine di scoprire le leggi che regolano la sua distribuzione nello spazio o nei corpi che l'occupano.

3° Suoi effetti sui nostri sensi, e sui corpi ai quali è comunicato nei suoi vari gradi d'intensità, per cui ci è dato di misurare questi gradi.

4° Sue intime relazioni cogli atomi della materia, come si mostrano nella sua attitudine ad acquistare uno stato latente sotto date circostanze, e ad entrare in certe combinazioni simili in qualche modo alle chimiche.

347. Le più ovvie sorgenti del calore sono il sole, il fuoco, la vita animale, le fermentazioni, le violente azioni chimiche di ogni specie, lo stropicciamento, la percussione, il fulmine o lo scoppio elettrico in qualunque maniera sia prodotto, la subita condensazione dell' aria, ed altre così numerose e così varie, che dimostrano la parte estesa ed importante che ha nell' economia della natura. Le scoperte dei chimici hanno tuttavia ridotto la maggior parte di queste alla classe generale di combinazione chimica. Quindi il fuoco, o la combustione di corpi infiammabili, non è altro che una violenta azione chimica che accompagna

la combinazione dei loro ingredienti coll' ossigeno dell' aria. Il calore animale si riferisce in egual modo ad un' operazione che ha una certa analogia con una lenta combustione, per cui una porzione di *carbonio,* principio infiammabile esistente nel sangue, è unita all' ossigeno dell' aria nella respirazione, e viene così rimossa dal sistema: e la fermentazione non è altra cosa se non una decomposizione di elementi chimici lentamente collegati, che si uniscono di bel nuovo sotto uno stato di combinazione più permanente. L'analogia tra il sole e il fuoco terrestre è così naturale che fu scelta da Newton per illustrare l'irresistibil forza di un argomento tratto da quel principio. Ma la natura del sole ed il modo in cui la sua maravigliosa diffusione di luce e di calore si mantiene, sono avvolti in un mistero che ogni scoperta fatta sì in chimica che in ottica, lungi dal dilucidare, sembra rendere sempre più profondo. Lo stropicciamento come sorgente di calore è troppo noto: noi ci freghiamo le mani per riscaldarle, e ungiamo gli assi delle ruote per impedire che accendano il legno; accidente che a dispetto di questa precauzione si vede talvolta capitare. Ma l'effetto dello stropicciamento, come mezzo di produr calore con quasi niun consumo di materiali, non era pienamente inteso finchè non fu l'oggetto di sperimenti diretti di Rumford, i cui risultati sembrano avere stabilito il fatto straordinario che una quantità di calore illimitato può ricavarsi dal fregamento continuato dei medesimi materiali. La condensazione sia dell' aria per mezzo della pressione o dei metalli per percussione, è un' altra potente origine di calore. Co-

sì il ferro può essere martellato con tanta destrezza da renderlo rovente, e la rapida condensazione di una parte d'aria rinchiusa può accendere l'esca.

348. I calori più violenti che si conoscano, sono prodotti dalla concentrazione dei raggi solari per mezzo di lenti,—dalla combustione dei gassi ossigeno e idrogeno mescolati nella proporzione esatta in cui si combinano per produr l'acqua,—e dallo scaricamento di una corrente continua ed abbondante di elettricità per via di un picciolo conduttore. Siccome queste tre sorgenti di calore sono indipendenti l'una dall'altra, e ciascheduna può essere posta in azione in un ristrettissimo spazio, nulla impedisce che tutte e tre siano adoperate sullo stesso punto, operazione con cui probabilmente si produrrebbero effetti infinitamente superiori a qualunque altro che si sia mai veduto.

349. Il calore si comunica o per *radiazione* fra corpi lontani, o per *conduzione* fra corpi in contatto o fra le parti contigue di un medesimo corpo. Le leggi della radiazione del calore sono state studiate con molta attenzione e furono trovate offrire forti analogie con quelle della luce in alcuni punti, e differenze singolari in altri. Così il calore che accompagna i raggi del sole si comporta, per ogni rispetto, come la luce; essendo soggetto a pari leggi di riflessione, di rifrazione ed anche di polarizzazione, come fu dimostrato da Bérard (1). Tuttavia non sono identici fra loro; Sir William Herschel avendo mostrato con ispe-

(1) Queste ed altre belle proprietà e relazioni del calore con la luce furono poste testè in piena evidenza o scoperte da Melioni e da Forbes. — *Nota del Traduttore.*

rimenti decisivi, verificati da quelli di Sir H. Englefield, che in un raggio solare esistono raggi di calore che non sono luminosi e raggi di luce che non sono calefacienti.

350. Il calore radiato da fuochi terrestri, e da corpi *oscuramente* caldi, qualunque sia il mezzo col quale l'abbiano acquistato (anche per esposizione ai raggi del sole), differisce d'assai dal calore solare in potenza di penetrare attraverso le sostanze trasparenti. Questa singolare ed importante differenza fu primamente notata da Mariotte, poscia divenne soggetto di molti curiosi sperimenti di Scheele, il quale trovò che il calore terrestre e quello radiato da fuochi o corpi riscaldati è intercetto e trattenuto dal vetro od altri corpi trasparenti, mentre il solare non è; e che quello essendo così trattenuto, il riscalda, mentre il secondo passando liberamente per essi non può produrre quest' effetto. Le più recenti scoperte di Delaroche hanno tuttavia mostrato che questa detenzione è compiuta solamente quando la temperatura della sorgente del calore è bassa; ma che questa temperatura divenendo più alta una porzione del calore radiato acquista la forza di passare pel vetro; e che la quantità che passa acquista sempre una più larga e crescente proporzione col tutto, di mano in mano che il calore del corpo radiante si fa più intenso. Questa scoperta è importantissima in quanto che stabilisce una comunione di natura fra il calore solare e il terrestre; nell'atto stesso che ci conduce a riguardare l'attuale temperatura del sole come di gran lunga eccedente quella di qualunque fiamma terrena.

351. Varie teorie sono state formate per dar ragione di questi curiosi fenomeni; ma la cosa ha ancora bisogno di essere dilucidata da sperimenti, ed è tale che merita, e probabilmente ricompenserà largamente le fatiche di coloro che quindi innanzi vi rivolgeranno la loro attenzione. La teoria della radiazione del calore, in generale, che sembra spiegar meglio i fenomeni conosciuti, è quella del sig. Prevost, il quale considera tutti i corpi come costantemente radianti calore in tutte le direzioni, mentre lo ricevono dagli altri per lo stesso mezzo di comunicazione, tendendo così, in qualunque spazio in tutto o in parte occupato da corpi di varie temperature, a stabilire un equilibrio od un' eguaglianza di caldezza in tutte le parti. Abbiamo già veduta l'applicazione di quest' idea alla spiegazione del fenomeno della rugiada (§ 167). Le leggi di questa radiazione, sotto varie circostanze, sono state testè investigate con una bella serie di sperimenti, sul raffreddarsi dei corpi per via della loro propria radiazione nel vacuo, fatti dal Dulong e Petit con tal maestria che offrono alcuni dei migliori esempi nella scienza dell' investigazione induttiva di leggi quantitative.

352. La comunicazione del calore fra corpi in contatto, o fra le diverse parti di un medesimo corpo, si fa per un processo chiamato conduzione. In fatto non è altro che un caso particolare di radiazione, come si è altrove spiegato (§ 217); ma è un caso *così* particolare da chiedere una separata ed indipendente investigazione delle sue leggi. La più importante considerazione introdotta nella ricerca da questa peculiarità

è quella del tempo. La comunicazione del calore per conduzione si fa il più delle volte con somma lentezza, mentre quella che è effetto di una diretta radiazione, non è probabilmente meno rapida che la propagazione stessa della luce. L'analisi dei punti delicati e difficili che sorgono nella investigazione di questo soggetto nella sua riduzione ad un diretto trattamento geometrico è stata eseguita con mirabile successo da Fourrier, la cui morte recente ha privato la scienza di un ornamento che le era tanto più necessario quanto più i suoi coltivatori sono divenuti radi in questi ultimi anni. Questo acuto filosofo e profondo matematico ha sviluppato, in una serie di elaborate memorie presentate all'Istituto di Francia, le leggi della comunicazione del calore a traverso l'interno delle masse solide, poste sotto l'influenza di cause esterne di caldo e di freddo, ed ha in particolare applicato i suoi risultamenti alle condizioni dalle quali dipende il mantenimento della temperatura attualmente osservata sulla superficie della terra; all'influenza possibile di un supposto calore centrale sui nostri climi; ed alla determinazione dell'attuale ammontare del calore che ci viene dal sole, o almeno di quella porzione di esso da cui dipende la differenza delle stagioni.

353. I principali effetti del calore sono le sensazioni di caldo o di freddo che sono la conseguenza del suo passare dentro o fuori dei nostri corpi; la dilatazione che cagiona nelle dimensioni di tutte le sostanze nelle quali è accumulato; i cambiamenti di stato che produce nella fusione dei solidi, e nel trasmutamento di essi e dei liquidi in vapore; e le mutazioni

chimiche che opera con attuali decomposizioni effettuate nelle intime molecole di varie sostanze, specialmente quelle di cui i vegetali e gli animali sono composti; al che possiamo aggiugnere la produzione di fenomeni elettrici sotto certe circostanze nel contatto dei metalli, e lo sviluppo della polarità elettrica in sostanze cristallizzate.

354. Il freddo è stato da taluni considerato come una qualità positiva, effetto di una causa opposta a quella del caldo; ma quest' idea sembra adesso (tranne forse una sola eccezione) essere universalmente abbandonata. La sensazione del freddo si spiega altrettanto facilmente col passaggio del calore al di fuori per la superficie del corpo, quanto quella del caldo col suo passaggio dal di fuori all' interno; e gli sperimenti citati in prova di una radiazione di freddo sono tutti perfettamente spiegati dalla teoria dello scambio reciproco di Prevost. Egli è tuttavia singolare il vedere quanto siano limitati i nostri mezzi di produrre un freddo intenso, in confronto di quelli che abbiamo di produrre un' accumulazione di calorico nei corpi. Questo è uno dei più forti argomenti che si possano addurre in favore delle dottrine di coloro che mantengono esser possibile di esaurire intieramente il calore di un corpo, e di lasciarlo in uno stato di privazione totale. Ma è da considerarsi che i metodi conosciuti di generare il calore si aggirano principalmente sulla produzione di combinazioni chimiche. Quindi è facile il concepire che, per ottenere effetti frigorifici corrispondenti di una potenza eguale, ci sarebbe d'uopo di possedere i mezzi di effettuare una

disunione fra gli elementi, attualmente combinati, altrettanto estesa e rapida quanto fu la loro unione che produsse il calore. Questo tuttavia non possiamo fare se non impegnandoli in combinazioni ancora più energiche, vale a dire, in cui possiamo ragionevolmente aspettarci che si produca moggior calore con la nuova combinazione che non se ne distruggerebbe o se ne sottrarrebbe con la proposta decomposizione. Ma la chimica, senza l'aiuto di agenti elettrici, non offre mezzo di rompere subitamente l'unione di due elementi, e di ridurli *entrambi* ad uno stato di separazione. Si osserva per altro una certa analogia a questa disunione ed alle sue conseguenze nella subitanea espansione di gassi condensati da uno stato liquido in vapore, che è la più potente causa di freddo che si conosca.

355. La dilatazione dei corpi per mezzo del calore è il soggetto di quella parte di scienza che è chiamata pirometria. Non v'è corpo che non sia capace di essere penetrato dal calore, sebbene con maggiore o minore rapidità secondo i casi; e questa penetrazione (tranne pochissime eccezioni che dipendono da circostanze affatto peculiari) fa che tutti i corpi aumentino di volume, non senza una gran diversità nel grado di dilatazione prodotto dallo stesso grado di calore. Delle varie forme di corpi naturali, i gassi e i vapori si osservano essere i più soggetti a dilatarsi; vengono poscia i liquidi, e per ultimo i solidi sono quelli che meno si dilatano. La dilatazione dei solidi fu il soggetto di ripetuti ed accurati misuramenti fatti da vari sperimentatori; fra i quali Smeaton, Lavoi-

sier e Laplace sono i principali. Già si è parlato della bella scoperta di Mitscherlich della dilatazione ineguale dei corpi cristallizzati (§ 266). Quella dei gassi e dei vapori fu esaminata quasi nello stesso tempo da Dalton e da Gay-Lussac, che indipendentemente giunsero entrambi alla conclusione di una eguale facoltà di dilatarsi, esistente in tutti, la quale è una delle cose più notevoli nella loro storia.

356. La dilatazione dell' aria per via del calore porge forse il più sicuro mezzo che si conosca di misurare i gradi di questo. Il termometro come fu originariamente costrutto da Cornelio Drebell, era un termometro ad aria. Quelli che adesso sono comunemente usati misurano gli accrescimenti del calore non dal grado di dilatazione dell' aria, ma da quella del mercurio. Le ricerche di Dulong e di Petit hanno dimostrato che le sue indicazioni coincidono esattamente con quelle del termometro ad aria in temperature moderate, quantunque ad altissime mostrino una deviazione sensibile ed anche considerevole. Per questo stromento che debbe la sua presente comodezza ed utilità alla felice idea di Newton, il quale fu il primo a pensare di fissare punti determinati nella sua scala, siamo in istato di stimare o almeno di identificare i gradi di calore; e quindi d'investigare con accuratezza le leggi della sua comunicazione e le altre sue proprietà. Se fossimo certi che addizioni eguali di calore producessero incrementi eguali di dimensione nelle sostanze, le indicazioni di un termometro porgerebbero una vera e certa *misura* della quantità presente; ma questo è così lontano dall' esser vero, che

siamo quasi in un'ignoranza totale su di questo punto importante; cosa che riempie di difficoltà la via di ogni raziocinio teorico, e delle stesse ricerche sperimentali. in conseguenza di questo difetto di una necessaria conoscenza preliminare, le leggi della dilatazione dei liquidi sono ancora avvolte in grande oscurità, a malgrado delle fatiche impiegatevi cogli elaborati sperimenti e coi calcoli di Gilpin, Blagden, Deluc, Dalton, Gay-Lussac e Biot.

357. Il più notevole e più importante tra gli effetti del calore è tuttavia il suo squagliare le sostanze solide e il trasmutare che fa dei liquidi così prodotti in vapore. Non vi è sostanza solida conosciuta che con un calore sufficientemente intenso non possa esser fusa e finalmente dissipata in vapore; e quest'analogia è così estesa e stringente che siamo costretti a supporre tutti quei corpi che sono liquidi in circostanze ordinarie, dovere la loro liquidezza al calore, ed esser pronti a congelarsi o divenir solidi se il loro calore potesse essere sufficientemente diminuito. In molti vediamo che questo accade negl'inverni ordinari; per alcuni si richieggono geli rigorosi; altri s'agghiacciano solamente ai più intensi freddi artifiziali; e taluni hanno sin qui resistito a tutti i tentativi; tuttavia il numero di questi ultimi è picciolo, e probabilmente cesseranno di essere eccezioni tosto che i nostri mezzi di produrre il freddo si saranno allargati.

358. Un'analogia simile a questa ci mena a conchiudere che tutti i fluidi aeriformi sono meramente liquidi tenuti in istato vaporoso dal calore. Molti di essi sono stati attualmente condensati nello stato li-

quido dal freddo accompagnato da una pressione violenta; e di mano in mano che si accrebbero i nostri mezzi d'impiegare queste cause di condensazione, altri più ritrosi furono successivamente donati. Quindi abbiamo un fondamento di stendere la nostra conclusione a quelli che sin ora non abbiamo potuto vincere; e così siamo condotti a riguardare come un fatto generale che gli stati liquido, aeriforme o vaporoso dipendono interamente dal *calore*; che se non fosse per questa causa, non vi sarebbe altro che solidi in natura; e che da un' altra parte null'altro si richiede se non una sufficiente intensità di calore per distruggere la coesione di ogni sostanza e ridurre tutti i corpi prima in liquidi e poscia in vapore.

359. Ma i solidi stessi per la sottrazione del calore si restringono nelle loro dimensioni, e nello stesso tempo divengono più duri e più frangibili, cedono meno alla pressione, e permettono una minor separazione tra le loro parti per causa di tensione. Questi fatti uniti alla maggiore comprimibilità dei liquidi, e alla più grande ancora dei gassi, c'inducono fortemente a credere che il calore solo è quello che tiene le particelle dei corpi a quella distanza l'una dall' altra, che è necessaria perchè vi sia luogo a compressione; ch' esso dà loro in fatto la elasticità ed opera come forza opposta alla mutua attrazione, che altrimenti le trarrebbe a contatto attuale, e le manterrebbe in uno stato di assoluta immobilità. Così impariamo a riguardare il calore come uno dei gran poteri che mantengono l'universo e a dare alle sue leggi e alle sue relazioni un grado d'importanza che giu-

stamente le renda meritevoli delle più assidue investigazioni.

360. Il Dr. Black fu il primo ad osservare che quando il calore produce la liquefazione di un solido o il trasmutamento di un liquido in vapore, il liquido o il vapore che ne risulta non è *più caldo* del solido o del liquido da cui fu prodotto, quantunque molto calore sia stato speso nel produrre questo effetto, e sia attualmente entrato nella sostanza.

361. Quindi egli trasse la conclusione ch' esso divenne *latente* e che continua ad esistere nel prodotto, mantenendolo nel suo nuovo stato senz' accrescere la sua temperatura. Egli provò inoltre che quando il vapore si condensa, o il liquido si congela, questo calore latente se ne sviluppa di bel nuovo. Questa grande scoperta, con la sua naturale concomitante che si può appena credere di minore importanza, cioè quella della differenza dei calori specifici in diversi corpi, o delle differenti quantità di calore che richieggono per innalzare egualmente la loro temperatura, sono le ragioni principali che si hanno di riguardare il calore come sostanza materiale in una maniera più decisa che la luce, con la quale nel suo stato radiante ha una cosi stretta analogia.

362. Il soggetto del calore latente è stato studiato assai meno attentamente di quello che la sua grande importanza pratica sembrerebbe domandare, se consideriamo che la teoria della macchina a vapore si riferisce principalmente a questa parte di scienza fisica, e che non è irragionevole l'aspettare grandi miglioramenti in quell' ordigno maraviglioso, da una

conoscenza più estesa, che non è quella che possediamo, dei calori latenti dei diversi vapori. Non si può tuttavia dire lo stesso del calore specifico che immediatamente dopo la sua prima promulgazione fu studiato con diligenza da Irvine; e dopo un breve intervallo da Lavoisier e Laplace, come pure dal nostro compaesano Crawford, il quale determinò i calori specifici di molte sostanze sì solide che liquide. Dopo un tempo considerevole d'inattività, questo studio fu ripigliato da Delaroche e Bérard, e poscia da Dulong e Petit: il risultamento, delle cui investigazioni è stato lo stabilimento induttivo di una di quelle semplici e leggiadre leggi fisiche che portano seco, se non la loro prova, almeno una raccomandazione alla nostra credenza, essendo d'accordo con tutto ciò che conosciamo dell' armonia della natura. La legge cui alludiamo è questa: — che gli atomi di tutti gli elementi chimici semplici hanno esattamente la stessa capacità di calore, cioè a dire sono tutti egualmente fatti caldi o freddi da eguali addizioni o sottrazioni di calore. Egli è soltanto in mezzo a leggi come questa che possiamo sperare di trovare un filo atto a guidarci ad una conoscenza della vera natura del calore e delle sue relazioni colla materia ponderabile.

Magnetismo ed Elettricità.

363. Questi due soggetti che avevano lungamente conservata un'esistenza indipendente, ed erano stati studiati come parti separate di scienza, sono finalmente al tutto riuniti. Questo è forse il risultamento

più soddisfacente che le scienze sperimentali abbiano sinora ottenuto. Tutti i fenomeni di polarità magnetica, di attrazione e di repulsione, si sono finalmente venuti a risolvere in un fatto generale, che due correnti di elettricità, se si muovono nella medesima direzione si rispingono, e se in direzioni contrarie si attraggono vicendevolmente. I fenomeni della comunicazione del magnetismo, e ciò che si chiama il suo *stato indotto* rimangono soli a spiegarsi; ma la bella teoria stata sviluppata dal signor Ampère, sotto il nome di Elettro-dinamica, lascia una speranza che questa difficoltà sparirà anch' essa alla sua volta, e che tutto questo soggetto alla fine si confonderà compiutamente, per quanto si estende la considerazione delle cause operanti, in quello più generale dell' elettricità. Questo non impedisce tuttavia che il magnetismo mantenga la sua separata importanza come divisione di ricerche fisiche, avendo le sue proprie leggi peculiari, e le sue relazioni del massimo interesse pratico, che possono studiarsi affatto indipendentemente da ogni considerazione della sua origine elettrica. E non solamente possiamo, ma, per istudiarle con vantaggio, dobbiamo procedere come se quest' origine fosse totalmente sconosciuta, e, per lo meno sino ad un certo punto considerevolmente inoltrato, dobbiamo condurre le nostre investigazioni in questa materia con gli stessi principii induttivi come se questa parte di fisica fosse assolutamente indipendente da tutte le altre.

364. Il ferro, i suoi ossidi e le sue leghe furono lungamente considerati essere le sole sostanze capaci

di magnetismo. La calamita fu persino uno di quelli esempi addotti da Bacone di quella classe di casi fisici cui egli dà il nome di «instantiae monodicae» — *casi singolari*. E la storia del magnetismo è un bel comento alle sue osservazioni su casi di questa sorta. « Nè dovranno, egli osserva, le nostre investigazioni della loro natura essere abbandonate, finchè le proprietà e le qualità che si trovano in quelle cose le quali possono essere stimate portenti della natura, non siano ridotte e comprese sotto qualche legge certa; cosicchè si scoprirà forse ogni irregolarità o singolarità dipendere da qualche forma comune, e il portento consistere nelle esatte differenze, nelle gradazioni o nella coincidenza straordinaria e non nella specie medesima ». La scoperta del magnetismo del nickel, la quale sebbene inferiore a quella del ferro è tuttavia considerevole; quella del cobalto più debole ancora, e quella del titanio appena percettibile, hanno atterrato affatto il limite imaginario fra il ferro e gli altri materiali del mondo, e stabilito l'esistenza di quella legge generale di continuità, che è uno dei principali oggetti della filosofia di rintracciare in tutta la natura. Le più recenti scoperte del signor Arago (§ 166) hanno compiuto questa generalizzazione, dimostrando che non vi è sostanza, la quale in favorevoli circostanze non possa offrire segni non equivoci della virtù magnetica. E per cancellare ogni vestigio di quella linea di separazione che una volta era così larga, possiamo ora per la grande scoperta di Oërsted comunicare per quello spazio di tempo che ci piace ad una matassa di qualunque filo metallico tutte le

proprietà di una magnete, — la sua attrazione, repulsione e polarità; e ciò anche in un grado più intenso che non si credesse prima possibile nelle migliori magneti naturali. In una parola, in questo caso, e forse in questo solo, nella scienza, siamo arrivati a quel punto che pare s'intendesse da Bacone per iscoperta di *forme*. « La *forma* di una natura qualunque, dic' egli, è tale che, dove *essa* si trova, la data natura debb' essere infallibilmente. La forma pertanto è sempre presente quando quella natura è presente, la certifica universalmente e l'accompagna dovunque. Inoltre questa forma è tale che quando è tolta, la data natura infallibilmente svanisce. Finalmente una vera forma è quella che può dedurre una data natura da qualche proprietà essenziale, che risiede in molte cose ».

365. Il magnetismo è notevole sotto un altro aspetto importante. Esso offre un caso prominente o « *manifesto* » di quella qualità esistente nella natura che si chiama *polarità* (§ 267), e ciò sotto circostanze che peculiarmente si adattano per lo studio di questa qualità. Non appare che gli antichi avessero alcuna conoscenza di questa proprietà della magnete, quantunque la sua attrazione del ferro fosse loro ben nota. La prima menzione che se n'è fatta nei tempi moderni non risale al di là del 1180, sebbene i Cinesi la conoscessero probabilmente prima di quell'epoca. La polarità della magnete consiste in questo che se vien sospesa in libertà, una sua parte si rivolgerà invariabilmente verso un certo punto dell' orizzonte, e l'altra verso il punto opposto; e che se due magneti so-

spese a questo modo sono avvicinate l'una all' altra, vi seguirà un' azione reciproca, in conseguenza della quale, le posizioni di entrambe saranno perturbate nella stessa maniera che accadrebbe se le parti corrispondenti di ciascuna si rispingessero, e le oppostamente dirette si attraessero reciprocamente, e variando in modo acconcio lo sperimento, si trova che questo veramente succede. Se una picciola magnete sospesa liberamente è avvicinata ad una più grossa, essa prenderà una posizione dipendente da quella dei *poli* della maggiore, per rispetto al suo punto di sospensione. Ed è stato accertato che questi e tutti gli altri fenomeni presentati da magneti nelle loro mutue attrazioni e repulsioni si spiegano colla supposizione di due forze o virtù esistenti nelle particelle delle magneti, l'una predominante ad un capo e l'altra all'opposto; e tali che ciascuna particella attrarrà quelle in cui prevale la virtù *opposta* alla sua, e rispingerà le altre in cui risiede una virtù *simile* alla propria, con una forza proporzionale al quadrato inverso della loro mutua distanza.

366. La direzione in cui una verga od un ago magnetico liberamente sospeso si pone, è stata trovata diversa a diversi punti della superficie della terra. In alcuni luoghi essa indica esattamente il settentrione e il mezzodì, in altri devia più o meno da questa direzione ed in alcuni la taglia ad angoli retti. Questo notevole fenomeno, chiamato declinazione dell' ago, e scoperto da Sebastiano Cabot nell' anno 1500, è accompagnato da un altro chiamato inclinazione, osservato da Roberto Norman nel 1576. Esso consiste

nella tendenza di un ago, delicatamente bilanciato sul suo centro prima che sia magnetizzato, ad inclinarsi o dirigere la punta in giù, quando è fatto magnetico, verso un punto sotto l'orizzonte e posto dentro la terra. Studiando la declinazione e l'inclinazione della bussola su tutta la superficie della terra, si è trovato che questi fenomeni hanno luogo come se la terra stessa fosse un gran magnete avente i suoi poli profondamente situati sotto la superficie, — e (cosa singolare) possedente un lento moto dentro di sè, in conseguenza del quale nè la declinazione nè l'inclinazione rimangono costantemente le stesse nel medesimo luogo. Le leggi di questo movimento sono adesso sconosciute; ma la scoperta dell'elettro-magnetismo, col rendere quasi certo che il magnetismo della terra non è altro che un effetto della continua circolazione di gran copia di elettricità intorno ad essa, in una direzione corrispondente in generale a quella della sua rotazione, ha dissipato la maggior parte del mistero che circondava questi fenomeni; poichè si possono imaginare molti casi, tanto geologici quanto di un' altra natura, i quali producano considerevoli deviazioni nell'intensità, ed altre parziali nella direzione di queste correnti elettriche. La distribuzione ineguale della terra e del mare nei due emisferi, influendo sull' operazione del calore solare nel produrre evaporazioni da quello (cosa che probabilmente è una delle grandi cause della terrestre elettricità), può facilmente credersi che modifichi la tendenza generale di tali correnti, e produca in esse irregolarità che possono dare una ragione soddisfacen-

te di tutto ciò che appare ancora anomalo nei fenomeni del magnetismo terrestre. Questa parte di scienza diviene in questo modo largamente connessa con quella della meteorologia, uno dei più complicati e difficili, ma insieme interessanti soggetti delle fisiche investigazioni; soggetto tuttavia che da qualche tempo ha cominciato ad essere studiato con una diligenza che promette di prontamente rivelare relazioni e leggi di cui adesso non ci possiamo formare se non un' imperfettissima idea.

367. La comunicazione del magnetismo dalla terra a un corpo magnetico, o da un corpo magnetico ad un altro si fa per un' operazione alla quale fu dato il nome d'induzione, e le leggi e le proprietà di questo magnetismo indotto sono state studiate con molta perseveranza e buon successo, — praticamente da Gilbert, Boyle, Knight, Whiston, Cavallo, Canton, Duhamel, Rittenhouse, Scoresby ed altri: — e teoricamente da Æpinus, Coulomb e Poisson, e nel nostro paese da Barlow e Christie, i quali hanno investigato con grande accuratezza i curiosi fenomeni che hanno luogo quando masse di ferro sono successivamente presentate, in diverse posizioni, per rotazioni su di un' asse, all'influenza del magnetismo della terra. Il magnetismo dei corpi cristallizzati (in parte per la somma rarità di quelli che sono capaci di una considerevole virtù magnetica) non è fin qui stato esaminato affatto, ma probabilmente offrirebbe curiosissimi risultati.

368. Lo studio dell' investigatore fisico si rivolge ora quasi da tutte le parti all' elettricità, siccome ad uno di quei poteri universali che la natura sembra

impiegare nelle sue più importanti e segrete operazioni. Questo portentoso agente che veggiamo in grande attività nella folgore, ed in una forma più debole e più diffusa traversare le alte regioni dell' atmosfera nelle aurore boreali, si trova probabilmente in immensa abbondanza in ogni forma della materia che ne circonda, ma non diviene sensibile se non quando è turbato da eccitamenti di genere particolare. Il più efficace di questi è lo stropicciamento, che abbiamo già osservato essere una potente causa di calorico. Tutti conoscono le scoppiettanti scintille che si svolgono dal dosso di un gatto quando è fregato. Queste, con qualche metodo acconcio, possono essere accumulate in corpi convenientemente disposti a riceverle, e quantunque allora non siano più visibili, danno testimonianza della loro esistenza presentando una gran quantità di fenomeni straordinari, — producendo attrazioni e repulsioni in corpi a qualche distanza, — ammettendo di essere trasferite per contatto, o per salto subito e violento dell' intervallo di separazione, da un corpo ad un altro, sotto forma di scintille e di lampi; — traversando con gran facilità la sostanza dei più densi metalli ed una quantità di altri corpi detti conduttori, mentre sono trattenute da altri, come il vetro e specialmente l' *aria* che perciò si chiamano non conduttori; — producendo scosse dolorose e movimenti convulsivi, e la morte stessa, se sono in quantità sufficiente, negli animali per cui passano, e imitando finalmente in picciolo tutti gli effetti della folgore.

369. Lo studio di questi fenomeni e delle loro leg-

gi, sino ad un tempo comparativamente recente, occupò tutta l'attenzione degli elettricisti, e costituì tutta la scienza dell'elettricità. Le loro ricerche hanno dato questo risultamento che tutti i fenomeni di cui si tratta appaiono potersi spiegare colla supposizione che l'elettricità consista in un fluido raro, sottile ed altamente elastico, il quale nella sua tendenza a spandersi e a diffondersi penetra con maggiore o minor facilità nella sostanza dei conduttori, ma è impedito e trattenuto dallo spandersi più o meno compiutamente dai non-conduttori. Si suppone inoltre che questo fluido elettrico possiede un potere di attrazione per le particelle di tutta la materia ponderabile, insieme con quello di repulsione per le particelle della sua propria natura. Se abbia gravità o sia piuttosto da riguardarsi come una specie di materia distinta da quella che compone i corpi ponderabili, è una questione di tal delicatezza che nessuno sperimento diretto ci ha ancora posti in grado di decidere; ma in ogni caso la sua *inerzia* paragonata con la sua forza elastica debbe credersi eccessivamente picciola, cosicchè è da riguardarsi come un fluido *attivo* in altissimo grado, obbediente ad ogni impulso, interno od esterno, con la massima prontezza: in somma, un fluido la cui energia può solamente essere paragonata con quella del *mezzo* etereo, per cui, nella dottrina ondulatoria, si suppone che la luce sia trasmessa. Le proprietà del gasse idrogeno paragonate con quelle dei fluidi aeriformi più densi, ci saranno di qualche aiuto nel concepire la mobilità eccessiva e l'attività penetrante di un fluido di questa

fatta. Tuttavia l'elettricità vuol esser riguardata come differente in alcuni punti notevoli da tutti quei fluidi ai quali siamo stati sin qui avvezzi a dare l'epiteto di elastici, siccome l'aria, i gassi e i vapori. In questi la forza repulsiva delle particelle dalle quali dipende la loro elasticità è considerata estendersi solamente a distanze brevissime, in modo da operare su quelle sole che sono immediatamente vicine l'una all' altra, mentre la loro virtù attrattiva, per cui obbediscono alla gravitazione universale di tutta la materia, si estende a qualunque distanza. Al contrario nell' elettricità si ha da ammettere tutto l'opposto. La forza colla quale le sue particelle si respingono vicendevolmente si estende a gran distanze, mentre la sua forza di adesione alla materia ponderabile vuol essere riguardata come limitata nella sua estensione ad intervalli tanto minuti che sfuggono all' osservazione.

370. L'idea di un solo fluido di questo genere, il quale quando è accumulato all' eccesso nei corpi tende costantemente a sfuggire, e a cercare un ristabilimento di equilibrio comunicandosi a tutti gli altri ne' quali ve ne sia difetto, è quella che più naturalmente ci si offre alla mente, e fu per conseguenza mantenuta da Franklin, cui la scienza dell' elettricità va grandemente debitrice per quegli sperimenti decisivi che ci rivelarono la vera natura del fulmine. La stessa teoria fu poscia sostenuta da Æpinus, il quale fu il primo a dimostrare come le leggi dell'equilibrio di questo fluido potessero essere sottoposte ad una rigorosa investigazione matematica. Ma sonvi fe-

nomeni che accompagnano il suo passaggio da un corpo all' altro e lo stato di equilibrio che assume sotto varie circostanze, i quali appaiono richiedere l'ammessione di *due fluidi distinti* antagonisti l'uno all' altro, ciascuno attraente l'altro e rispingente se stesso; ma entrambi egualmente capaci di adesione alle sostanze materiali, e di passare più o meno rapidamente in esse di particella in particella. Questi fluidi, nel loro essere naturale e tranquillo, si stimano esistere in uno stato di combinazione e di saturazione reciproca; ma questa combinazione può esser rotta, e l'uno o l'altro di essi può essere separatamente accumulato in un corpo, in una quantità qualunque, senza dell' altro, purchè la sua fuga sia efficacemente impedita col circondarlo di non-conduttori. Quando è accumulato a questo modo, la sua repulsione della propria specie ed attrazione dell' opposta nei corpi vicini tende a turbare l'equilibrio naturale dei due fluidi in essi presenti, ed a produrre fenomeni di una natura particolare, chiamati elettricità *indotta*. Per istrana ed artificiale che appaia questa teoria, non v' è stato fenomeno sin qui prodotto di cui non dia almeno una plausibile e, nella massima parte dei casi, una soddisfacente spiegazione. Essa ha un carattere assai pregevole in una teoria, quello di ammettere l'applicazione del rigoroso raziocinio matematico alle conclusioni che ne vogliamo trarre. Senza di questo è quasi impossibile che una teoria sia messa alla voluta prova del paragone coi fatti. Epperò la teoria matematica dell' equilibrio elettrico e le leggi della distribuzione dei fluidi elettrici sulle superficie dei corpi in cui sono accumu-

lati, sono state il soggetto di elaborate investigazioni geometriche dei più valenti matematici, e sono giunte ad un tal grado d'importanza da mettere questa parte di scienza in luogo cospicuo fra le investigazioni fisico-matematiche. Queste indagini sono fondate sulla supposizione di una legge di attrazione e di repulsione simile a quelle di gravità e di magnetismo, le quali per lo generale accordo dei risultamenti coi fatti, come pure per gli sperimenti espressamente istituiti ad oggetto di verificarle, sono riguardate essere a sufficienza dimostrate.

371. La parte più oscura di questa materia è senza dubbio il modo originale di turbamento dell'equilibrio elettrico per cui l'elettricità è in prima eccitata o per fregamento o per altra delle cause che si sono riconosciute produrre quest'effetto. Le analogie, è vero, non mancano (1); ma si debbe confessare che

(1) Faremo menzione di una che non ci ricordiamo di aver veduta accennata altrove, nel caso di un turbamento dell'equilibrio del calore prodotto per mezzi puramente meccanici, e per un metodo affatto dipendente da un certo ordine e da una certa successione di avvenimenti, e dall'operazione di cause conosciute. Suppongasi una quantità d'aria rinchiusa in un recipiente metallico, buon conduttore del calore, e subitamente compressa da uno stantuffo. Dopo di aver dato tempo al calore sviluppato dalla condensazione di comunicarsi dall'aria al metallo, il quale acquisterà così una temperatura più o meno *superiore* a quella dell'atmosfera che lo circonda, si ritiri subitamente lo stantuffo, e l'aria sia restituita al suo volume originario in un istante. L'intero apparato si trova adesso precisamente nella sua primiera situazione, quanto alla disposizione delle sue parti materiali, e la quantità intiera del calore che contiene rimane la stessa. Ma è evidente che la distribuzione di questo calore internamente è adesso assai diversa

sin qui non si è veduto nulla di decisivo a questo proposito, e che modi di azione congetturali hanno qui troppo spesso usurpato il luogo di quelli ai quali il solo accurato esame dei fatti ci può condurre.

372. I filosofi conoscevano da lunga mano gli effetti dell' elettricità qui sopra riferiti, e quelli che produce nel suo subito e violento passaggio da un corpo all' altro, spezzando e sfracellando le parti delle sostanze per cui passa, e dove è in gran copia, producendo tutto l' effetto di un calore intenso, ardendo, fondendo e volatilizzando metalli ed accendendo i corpi infiammabili. La sua stessa influenza incidentale a distruggere od alterare la polarità dell' ago magnetico era stata osservata; ma siccome si sapeva che il calore è prodotto da una violenza meccanica, e che la stessa causa influisce pure grandemente sul magnetismo, questi effetti erano piuttosto attribuiti

da quello che era prima; poichè l'aria nella sua subita espansione non può riassorbire in un istante di tempo tutto il calore che è passato al metallo, essa avrà dunque una temperatura *inferiore* a quella dell' atmosfera generale, mentre il metallo ne possiede una superiore. Così si è *bona fide* operata una sovversione dell' equilibrio della temperatura. Il calore è stato cacciato dall' aria dentro il metallo, mentre tutto il rimanente resta inalterato.

Qui abbiamo uu mezzo per cui è evidente che si può ottener calore dall' aria in qualunque grado, senza combustibile. Imperciocchè se invece di ritirare lo stantuffo e di lasciare che la *medesima* aria si spanda nel recipiente, questa sarà lasciata sfuggire così rapidamente che non assorbisca di bel nuovo il calore perduto, ammettendovi nuova aria e ripetendosi l'operazione, una quantità qualunque d'aria potrà in questo modo essere privata del suo calore.

a quella causa che a qualunque cosa appartenente alla natura peculiare della materia elettrica, ed erano piuttosto riguardati come una conseguenza indiretta del suo modo di agire che come connessi con la sua intima natura. In somma l'elettricità sembrava destinata ad essere un nuovo esempio fra molti altri di soggetti isolati dal rimanente della filosofia, ed atta ad essere solamente studiata nelle sue proprie relazioni interne, quando le grandi scoperte di Galvani e di Volta posero un nuovo potere a disposizione dello sperimentatore, per cui mezzo quegli effetti che prima erano stati affollati in un istante inapprezzabile, poterono essere minutamente sviluppati e studiati con agio; e quelle forze che prima si mostravano soltanto in uno stato d'intensità indomabile, furono per così dire mansuefatte e costrette a distribuire la loro efficacia su di un tempo indefinito, e a regolare la loro azione secondo la volontà dell' operatore. Si riconobbe tosto allora che l'elettricità, nell' atto del suo passaggio lungo i conduttori, produce una quantità di maravigliosi effetti di cui prima non si era mai avuto sospetto, e di tale natura da offrire punti di contatto con parecchie altre parti d'investigazione fisica e da spargere nuova ed inaspettata luce su di alcune delle più oscure operazioni della natura.

373. La storia di questa grande scoperta è una bella dimostrazione del vantaggio che si ricava nelle investigazioni fisiche da una scrupolosa attenzione a qualunque fenomeno, per picciolissimo che sia apparentemente, il quale al momento dell' osservazione sembri non potersi spiegare secondo i principii ricevuti. I

movimenti convulsivi di un morto ranocchio in vicinanza di uno scaricamento elettrico, che originariamente attrassero l'attenzione di Galvani a questo soggetto, erano stati osservati da altri quasi un secolo prima di lui, ma non produssero altra osservazione se non questa che indicavano una sensibilità peculiare all' eccitamento elettrico dipendente da quel residuo di vitalità che non è estinto nella forma organica di un animale dalla privazione stessa della vita. Galvani non si contentò di questo. Egli analizzò il fenomeno; e nello investigare tutte le circostanze connessevi, fu menato ad osservare un eccitamento elettrico particolare, che seguiva quando si era fatto una concatenazione di tre parti distinte, cioè un muscolo, un nervo ed un conduttore metallico, ciascuno posto in contatto cogli altri due, e che si manifestava con un moto convulsivo prodotto nel muscolo. A questo fenomeno egli diede nome di elettricità animale, epiteto infelice, poichè tendeva a restringere le investigazioni della sua natura alla classe dei fenomeni in cui si rese dapprima apparente. Ma questa circostanza che in un secolo di scienza meno investigatore avrebbe potuto avere un' influenza fatale sul progresso delle cognizioni, fortunatamente non fu di ostacolo ad un ulteriore sviluppo de' suoi principii, poichè il soggetto fu immediatamente studiato con una specie di ardor profetico da Volta, il quale generalizzò tosto il fenomeno, scartando le considerazioni fisiologiche introdotte da Galvani, siccome quelle che erano straniere all' investigazione, e riguardando la contrazione de' muscoli come un semplice mezzo delicato di

scoprire la produzione di eccitamenti elettrici troppo deboli per essere fatti sensibili in altro modo. Così egli giunse alla conoscenza di un fatto generale, quello del turbamento dell' equilibrio elettrico pel mero contatto di diversi corpi, e della circolazione di una corrente di elettricità in una direzione costante, per un circuito composto di tre diversi conduttori. L'accrescere l'intensità del minutissimo e delicatissimo effetto così osservato fu il suo secondo scopo, nè le sue investigazioni terminarono finchè non ebbe compiuta quella maravigliosissima delle umane invenzioni, la *pila* che porta il suo nome, per una serie di ben condotti e logicamente combinati sperimenti, che raramente, o forse non mai, fu sorpassata negli annali delle ricerche fisiche.

374. Quantunque la pila originale di Volta fosse debole a fronte di quelle gigantesche combinazioni che furono poscia prodotte, bastava nondimeno per presentare l'elettricità sotto un aspetto assai diverso da qualunque avesse per l'addietro, e per far notare quelle peculiari modificazioni nella sua azione che il Dr. Wollaston fu il primo a spiegare in modo soddisfacente, riferendole ad un aumento di *quantità* accompagnato da una diminuzione d'*intensità* nel fluido generato. Non era molto che la scoperta era stata fatta di pubblica ragione e che lo stromento si trovava nelle mani dei chimici e degli elettricisti, quando si riconobbe che la corrente elettrica, trasmessa da quello per mezzo a liquidi conduttori, produce in essi decomposizioni chimiche. Questa scoperta essenziale appare essere stata fatta primamente da Nichol-

son e Carlisle che osservarono la decomposizione dell'acqua a questo modo prodotta. Essa fu prontamente seguita dall' altra ancora più rilevante di Berzelius e di Hisinger, i quali trovarono esser legge generale, che in tutte le decomposizioni così operate, gli acidi e l'ossigeno si trasferiscono e si accumulano intorno al polo positivo, — e l'idrogeno, i metalli e gli alcali intorno al negativo di un circuito Voltaico: essendo trasportati in uno stato invisibile e, in certo modo, latente e torbido, dall' azione della corrente elettrica, per ispazi considerevoli, ed eziandio a traverso gran quantità d'acqua o di altri liquidi, per riapparire di nuovo con tutte le proprietà ai loro convenienti luoghi di riposo.

375. Si fu in questo stato di cose che il soggetto fu preso a trattare da Davy, il quale vedendo che le maggiori affinità chimiche erano così di leggieri sovvertite dall' azione decomponente della pila, concepì il felice pensiero d' impiegare l' intenso potere delle enormi batterie dell' Istituzione Reale su quelle sostanze che, sebbene fossero fortemente sospette di essere composte, avevano resistito a tutti i tentativi di scomporle — cioè gli alcali e le terre. Esse cedettero alla forza adoperata ed una rivoluzione totale fu fatta nella chimica; non tanto per l'introduzione di nuovi elementi così venuti alla luce, quanto pel modo di concepire la natura dell' affinità chimica, che da quel tempo (siccome Davy largamente enunziò in una teoria prontamente accolta dai più illustri chimici, e da nessuno più volentieri che dallo stesso Berzelius) fu riguardata come interamente dovuta alle attrazioni e

alle repulsioni elettriche; quei corpi più intimamente combinandosi, le cui particelle sono abitualmente in uno stato di potentissimo antagonismo elettrico, e vicendevolmente rimovendosi, secondo l'ammontare della loro differenza in questo particolare.

376. La connessione del magnetismo e dell'elettricità era stata da buona pezza sospettata, e innumerevoli tentativi inutili erano stati fatti per determinare affermativamente o negativamente una tal questione. I fenomeni di molti minerali cristallizzati che divengono elettrici pel calore, e sviluppano poli elettrici opposti nelle due loro estremità, offerivano un'analogia così manifesta con la polarità della magnete, che sembrava quasi impossibile il dubitare di una più stretta connessione dei due poteri. Lo sviluppo di una simile polarità nella pila Voltaica tendeva fortemente alla stessa conclusione; e si erano persino fatti sperimenti per riconoscere se una pila in istato d'eccitamento non manifesterebbe una disposizione di porsi nel meridiano magnetico; ma la condizione essenziale era stata ommessa, quella cioè di lasciare che la pila si scaricasse liberamente, condizione che sicuramente non si sarebbe mai offerta da se stessa ad alcuno sperimentatore. Di tutti i filosofi che avevano specolato su questa materia niuno più di Oërsted si attenne pertinacemente all'idea di una connessione necessaria fra i fenomeni. Spesso deluso nelle sue speranze, egli tornò all'assalto; e la sua perseveranza fu alla fine ricompensata dalla rivelazione compiuta del maraviglioso fenomeno dell'elettro-magnetismo. Havvi in questo qualche cosa che ci rammenta l'ostinata per-

suasione di Colombo della necessaria esistenza del nuovo mondo; e tutta la storia di questa bella scoperta servirà ad insegnarci di confidare in quelle generali analogie e in quei paralelli fra due gran divisioni di scienza, per cui una ce ne ricorda un'altra, sebbene non ci appaia alcuna connessione diretta; indicazione di un' origine comune che non è da trascurarsi.

377. Egli è assai probabile che ignoriamo ancora molte parti interessanti della scienza elettrica, che lo studio del circolo Voltaico scoprirà un giorno. I violenti effetti meccanici che produce sul mercurio, sotto liquidi conduttori, stati riferiti dal professore Erman ad una forma modificata di attrazione capillare, ma che un accurato e più esteso esame del fenomeno ha condotto altri (1) a riguardare sotto un aspetto assai diverso, siccome indicanti un' azione primaria di un carattere dinamico piuttosto che statico, meritano che secondo quest' idea si facciano ulteriori investigazioni; e le curiose relazioni dell' elettricità col calore, quali s'incontrano nei fenomeni della così nomata termo-elettricità, promettono un' ampia messe di nuove cognizioni.

378. Fra gli effetti notevoli dell' elettricità rivelati dalle ricerche di Galvani e di Volta, forse i più singolari consistevano nella sua influenza sul sistema nervoso degli animali. L'origine del moto muscolare è uno di quei profondi misteri della natura che appena possiamo sperare di vedere pienamente spiegati.

(1) Vedi *Trans. Filos.* 1824.

I fisiologi tuttavia si erano da lungo tempo formato un' idea generale di qualche sottile fluido o spirito discorrente lungo i nervi dal cervello ai muscoli degli animali; e la scoperta della rapida trasmissione dell' elettricità lungo i conduttori, coi violenti effetti prodotti da scosse, trasmesse per via del corpo, sul sistema nervoso, doveva naturalmente far nascere l'idea che questo fluido nervoso, se pure esisteva realmente, non fosse altro che l'elettrico. Ma sino alle scoperte di Galvani e di Volta, questo non poteva riguardarsi se non come una semplice e vaga congettura. Mancava il carattere di *vera causa* per darvi un grado di probabilità razionale, poichè non si poteva imaginare alcuna ragione pel turbamento dell' equilibrio nella struttura animale, composta com' è intieramente di conduttori, o piuttosto sembrava contrario alle leggi allora conosciute della comunicazione elettrica il supporli tali. Tuttavia si potrebbe addurre uno strano e sorprendente fenomeno, indicativo della possibilità di un tal turbamento, cioè, la forte scossa data dalla torpedine e da altri pesci dello stesso genere, che presentava tante analogie con quelli prodotti dall' elettricità da potersi appena riferire ad un' origine diversa, quantunque, *fuori* della scossa, nè scintilla nè alcun altro indizio di tensione elettrica vi si potesse scoprire.

379. L'intormentimento cagionato dalla torpedine era stato riconosciuto dipendere da una certa costruzione singolare di organi composti di colonne membranose, da un capo all' altro ripiene di lamine separate tra loro da un fluido: ma del modo di azione

non si poteva dare ragione soddisfacente; nè v'era alcuna cosa nella costruzione, e meno ancora nella natura de' materiali, che desse causa di supporre esser questo un apparecchio elettrico. Ma la pila di Volta rivelò ad un tratto le analogie sì di struttura che di effetto, in modo da lasciar poco dubbio della natura elettrica dell'apparecchio, o del potere (certamente mirabilissimo) dell'animale, di determinare con uno sforzo della sua volontà quella concorrenza di condizioni dalla quale la sua attività dipende. Questo rimase, come probabilmente rimarrà sempre, misterioso ed inesplicabile; ma una volta stabilito il principio, che esiste nell'economia animale un potere di determinare lo sviluppo dell'eccitamento elettrico, capace di esser trasmesso lungo i nervi, ed essendo accertato da numerosi e decisivi sperimenti che la trasmissione dell'elettricità Voltaica lungo i nervi di un animale anche morto è sufficiente a produrre la più violenta azione muscolare, fu un passo facile quello di riferire ad una causa simile l'origine del movimento muscolare in un corpo vivente, e di considerare il cervello, organo maravigliosamente costituito, per cui non si era mai imaginato un modo di azione che fosse menomamente plausibile, come la sorgente del richiesto potere elettrico (1).

(1) Se il cervello è una pila elettrica costantemente in azione, si può concepire che si scarichi ad intervalli regolari, quando la tensione dell'elettricità sviluppata giunga ad un certo grado, lungo i nervi che comunicano col cuore, e così ecciti le pulsazioni di quell'organo. Quest'idea è fortemente suggerita dalla vista di quell'elegante apparecchio, detto pila secca di Deluc, in cui

*

380. Non è tuttavia nostra intenzione di entrare in ulteriori considerazioni di soggetti fisiologici. Essi formano, è vero, una provincia importantissima di ricerche filosofiche; ma il modo con cui abbiamo sin qui riguardato la scienza fisica è piuttosto stato diretto allo studio della natura inanimata che a quello dei misteriosi fenomeni dell' organizzazione e della vita, che sono l'oggetto della fisiologia. La storia delle produzioni animali e vegetali del globo, siccome offerenti oggetti e materiali pel comodo e per l'uso dell'uomo, e siccome dipendenti e indicative delle leggi generali che determinano la distribuzione del calore, dell' umidore e di altri agenti naturali sulla sua superficie, non meno che le rivoluzioni che vi sono accadute, sono senza dubbio intimamente connesse col nostro soggetto, e perciò naturalmente daranno luogo ad alcune osservazioni, ma non tali da occupare troppo lungamente l'attenzione del lettore.

381. Nella *zoologia*, la connessione di modi peculiari di vita e di alimento, con peculiarità di struttura, ha dato occasione a sistemi di classificazione ad un tempo ovvii e naturali; e i grandi progressi che si sono fatti nell' anatomia comparata ci hanno posto

le successive accumulazioni dell' elettricità sono portate via da una palla sospesa, la quale è tenuta dagli scaricamenti in uno stato di pulsazione regolare per un tempo qualunque. Noi abbiamo veduto l'azione di questa pila mantenuta in tal modo per anni interi nello studio di quell' eminente filosofo. La stessa idea della causa della pulsazione del cuore sembra essersi presentata al dott. Arnott; ed è accennata nella sua utile ed eccellente opera sulla fisica, cui tuttavia non andiamo debitori di questo pensiero, che molti anni sono ci è indipendentemente venuto.

in grado di scoprire una gradazione continua di organizzazione in quasi tutta la catena degli esseri animati; gradazione non senza intervalli, che ogni successiva scoperta di animali per l'addietro sconosciuti ha tuttavia in parte riempiuti. Le maraviglie rivelate dalle osservazioni microscopiche ci hanno aperto allo sguardo un nuovo mondo, in cui scopriamo con istupore gli estremi della minutezza e della complessità della struttura riuniti. Mentre da un' altra parte l'esame degli avanzi fossili di un antico stato di creazione ha dimostrato l'esistenza di animali di gran lunga superanti in grandezza quelli che adesso vivono, ed ha esposto alla luce molte forme di esseri che non hanno nulla di analogo coi presenti, e molte altre che servono d'importanti anelli di connessione fra generi esistenti. Inoltre le ricerche fatte nell' anatomia comparata e nella conchigliologia hanno sparso una gran luce sugli studi del geologo, e gli hanno fatto discernere per l'oscuro mezzo di poche reliquie qua e là sparse per uno strato, circostanze connesse con la formazione dello strato medesimo che non avrebbe potuto riconoscere ad alcun altro indizio. Questo è uno fra' molti esempi convincenti dell' inaspettato aiuto che le scienze, benchè apparentemente remote, possono prestarsi a vicenda.

382. Molte di queste medesime osservazioni possono applicarsi alla *botanica*. I suoi sistemi artificiali di classificazione, per comodi che siano, non hanno impedito i botanici dal cercare di radunare insieme gli oggetti della loro scienza in classi naturali aventi una comunione di carattere più intima che non quelle le

quali ne determinano il luogo nel sistema Linneano o in altri simili; comunione di carattere che si stende su tutti gli abiti e su tutte le proprietà degl' individui paragonati. Le importanti scoperte chimiche state recentemente fatte di peculiari principii prossimi, che in un modo speciale caratterizzano certe famiglie di piante, fanno sperare che sia per aprirsi in questa direzione un vasto campo di cognizioni, dilettevoli non solo ma altamente utili, se si considera che i principii così palesati sono per la maggior parte medicine potentissime, e sono in fatto gl' ingredienti essenziali da cui le mediche virtù delle piante dipendono. La legge della distribuzione delle forme generiche delle piante sul globo è pure, da un tempo comparativamente recente, divenuta oggetto dello studio del naturalista; e la sua connessione con le leggi del clima è una di quelle parti d'investigazione nella storia naturale, che è per se stessa di grande importanza e su cui fa d'uopo che si spanda ancora una gran luce per mezzo di future ricerche. Questo è ciò che forma il principale anello di connessione fra la botanica e la geologia, e rende una conoscenza dei fossili vegetali di qualunque parte della superficie della terra, indispensabile alla formazione di un diritto giudizio delle circostanze sotto le quali questa esisteva nel suo antico stato. La botanica fossile è perciò coltivata con un grande e crescente amore; e la *Flora* sotterranea di una formazione geologica è, in molti casi, studiata con un grado di accuratezza e di precisione di poco inferiore a quello con cui si studiano le produzioni vegetali della sua superficie.

CAPITOLO VI.

Delle cause del presente rapido avanzamento delle scienze fisiche paragonato coi loro progressi nei tempi passati.

383. Non vi è contrasto più straordinario di quello che presentano i lenti progressi delle scienze fisiche, dalle epoche più antiche del mondo al cadere del decimosesto secolo, e il rapido sviluppo che d'allora in poi si è in esse manifestato. In quel primo periodo della loro storia, non troviamo altro che picciole addizioni al sapere fatte a lunghi intervalli di tempo; durante i quali una totale indifferenza della massa del genere umano allo studio della natura venne ad operare una quasi compiuta dimenticanza delle antiche scoperte, o al più permise che ne rimanesse qualche leggiera memoria, piuttosto come di curiosità letterarie che come aventi in sè un interesse ed una importanza intrinseca. Pochi individui investigatori di secolo in secolo poterono forse conoscere il pregio e sentire un' ardente sete di sapere, che negli animi grandi tien luogo di stimolo esterno e di opportunità; ma la mancanza totale di una giusta direzione delle ricerche, e di una chiara percezione del loro oggetto e dei vantaggi che si ricavano da investigazioni sistematiche e connesse, aggiunta all' apatia generale degli uomini verso specolazioni remote delle cose ordinarie della vita, ed espressamente tenute avvolte in un dotto mistero, efficacemente impedirono che questi impulsi accidentali vincessero l' inerzia dell' i-

gnoronza ed imprimessero un progresso regolare e costante alla scienza. Il suo scopo era, per verità, posto in una ragione troppo sublime per un intelletto volgare. Un terremuoto, una cometa, o una meteora di fuoco, chiamavano di quando in quando a sè l'attenzione del mondo intero, e producevano da tutte le parti un' abbondanza di mal fondate e fantastiche congetture sulle loro cause; ma non si supponeva mai che le scienze potessero esistere negli oggetti comuni, avere un posto fra le arti meccaniche, o trovare una materia degna di specolazione nella miniera o nell' officina. Ciò non pertanto non è da supporsi che tutte le indicazioni della natura passassero continuamente inosservate, o che molte buone osservazioni e molti acuti raziocinii non perissero senza esser registrati, prima che l'invenzione della stampa permettesse a tutti di far conoscere le loro idee al mondo. Al momento che questa cominciò a spandersi, le scintille delle cognizioni di tempo in tempo si mostrarono, ed in vece di luccicare per un istante e di estinguersi nell' obblio, principiarono ad accumularsi in un bel fuoco, donde scoppiò finalmente la fiamma che in breve dovea acquistare la forza e il rapido dilatarsi di un incendio. L'ansietà universale che il primo apparire della scienza moderna produsse nelle menti degli uomini per tutta Europa, è già stata indicata. Ma coloro stessi che più facilmente danno ricetto alla speranza appena avrebbero potuto aspettarsi quel costante e non interrotto progresso in cui la scienza si è sin qui mantenuta, o quella rapida serie di grandi scoperte la quale ha fatto che l'ardore del primo im-

pulso sia tuttora vigoroso e in nulla diminuito. E veramente si può dire non esservi quasi una sola parte d'investigazioni fisiche che sia stazionaria, o che da molti anni non si trovi in uno stato costante di avanzamento, e in cui il progresso in questo momento non si manifesti con sempre crescente rapidità.

384. Fra le cause di questo fortunato e desiderabile stato di cose dobbiamo senza dubbio in primo luogo annoverare il grande aumento di ricchezze e di civiltà che ad un tempo procurò l'agio necessario e sparse il gusto delle occupazioni intellettuali in un gran numero d'uomini, cose che sono state da buona pezza e sono tuttavia continuamente progressive in ogni stato principale di Europa, e che l'ampliazione ed il recente stabilimento di comunità civilizzate in ogni lontana regione spandono rapidamente per tutto il globo. Tuttavia non è tanto l'accresciuto numero dei coltivatori della scienza, quanto le loro ampliate opportunità di studiare, che dobbiamo qui considerare, giacchè in tutte le numerose divisioni di investigazioni naturali che richiedono notizie locali, questa è infatto la più importante di tutte le considerazioni. A questa causa dobbiamo riferire la grande estensione che in questi ultimi anni si è operata in ogni parte della storia naturale, e le immense addizioni che furono fatte e giornalmente si fanno alle divisioni della zoologia e della botanica, in tutte le loro ramificazioni. Egli è pure ovvio che tutte le cognizioni le quali possono essere ricavate e notate dai più illuminati e più attivi fra i viaggiatori debbono essere d'assai poca importanza in paragone di quelle

che si ottengono da individui residenti nei luoghi medesimi. I viaggiatori possono per verità far collezioni, possono raccogliere alcune poche frettolose osservazioni, notare, per esempio, la distribuzione di formazioni geologiche in alcuni punti separati, e qua e là osservare qualche straordinario fenomeno locale; ma il residente solo può fare una serie continuata di osservazioni regolari, quali richiede la determinazione scientifica di climi, maree, variazioni magnetiche, ed innumerevoli altri oggetti di questa sorta: esso solo può notare tutti i particolari di una struttura geologica, e riferire ciascuno strato alla sua vera epoca per una diligente e lungamente continuata osservazione de' fossili in esso contenuti; solo finalmente può osservare gli abiti degli animali del suo paese, e i limiti della sua vegetazione, o procurarsi una soddisfacente conoscenza de' suoi minerali, con mille altri particolari essenziali per conoscere compiutamente il nostro globo come un tutto, cosa che comincia a prendere l'estesa designazione di geografia fisica. Alle quali cose si vogliono aggiungere le moltiplici opportunità di osservare e di descrivere quegli straordinari fenomeni della natura che presentano un grande interesse, per la rarità loro e per la istruzione che se ne può ricavare. Che non dobbiamo dunque sperare quando uno spirito di scientifica investigazione si sarà diffuso per quelle vaste regioni nelle quali gli effetti dell' incivilimento, suoi sicuri precursori, cominciano a mostrarsi e attivamente progrediscono? E che non è da aspettarsi dall' applicazione di potenti ingegni messi in azione in circo-

stanze totalmente diverse da alcuna che sia mai esistita nel mondo, e su di un territorio di gran lunga più vasto che non quello il quale ha sin qui prodotto tutta la messe dell' umano intelletto? In proporzione che si aumenta il numero di coloro i quali lavorano a ciascuna divisione di fisica investigazione, e di mano in mano che si allarga l'estensione geografica sulla quale sono sparsi, una maggiore facilità proporzionata di comunicazione e di scambio di sapere diviene essenziale al vantaggioso proseguimento delle loro ricerche. E questo non è solamente da desiderarsi per impedire che più individui facciano le stesse scoperte nello stesso momento, il che (oltre alla perdita di un tempo prezioso) è sempre stato una fertile sorgente di gelosia e di dissapori, da cui nacquero grandi pregiudizi alla scienza; ma perchè i metodi d'osservazione ricevono continuamente novelli miglioramenti o acquistano nuove facilità, di cui è interesse generale della scienza che si diffonda la cognizione quanto più ampiamente e rapidamente sarà possibile. Per questo mezzo si generano pure, un sentimento d'interesse comune e di assistenza mutua, ed una certa simpatia in una comunione di studi, che divengono uno stimolo potente a nuovi sforzi; mentre da un altro lato si accrescono i mezzi di scoprire e d'indicare gli errori prima che altri non sia più in tempo di rettificarli.

385. Forse si può osservare con verità che dopo lo stabilimento d'istituzioni aventi per oggetto espresso o l'avanzamento della scienza in generale o ciò che è più efficace in pratica nel suo presente stato di buon

avviamento, quello di particolari divisioni di ricerche fisiche, nulla ha esercitato tanta influenza sui progressi della scienza moderna quanto la pubblicazione di giornali scientifici mensuali o trimestrali, di cui v'è appena nazione in Europa che adesso non produca parecchi. La pronta ed universale circolazione di questi, pone gli osservatori di tutti i paesi sul medesimo livello di perfetta intimità cogli oggetti e coi metodi di ciascuno di essi, mentre gli estratti che i giornali (se sono ben compilati) contengono di tempo in tempo delle più importanti ricerche che si vanno consegnando nei più pesanti volumi delle collezioni accademiche, servono a dirigere il corso dell' osservazione generale, come pure ad offrire, nella più cospicua maniera, modelli da imitarsi con emulazione. Nell'estimare ciò che quind'innanzi è da aspettarsi da questa causa di miglioramento, non dobbiamo dimenticare il potente effetto che sarà in avvenire prodotto dallo spandersi di opere elementari e di trattati di ciò che si sa in ciascuna divisione particolare della scienza. Nulla è più scoraggiante per uno che sia impegnato in attive ricerche quanto l'idea che tutte le sue fatiche possano probabilmente essere inutili, che quello che per lui si fa possa già esser fatto, e molto meglio che le sue opportunità e i suoi mezzi non gli permettono di farlo; siccome all' opposto non v'è cosa che dia maggior incoraggiamento quanto la persuasione contraria. Così col dare un ragguaglio connesso di ciò che è stato fatto e di ciò che rimane a compiersi in ogni parte di scienza, quelle collezioni e quei trattati che di tempo in tempo vengono in luce, hanno realmente un peso

importante nel determinare i suoi futuri progressi, indipendentemente dalla quantità di cognizioni che comunicano. Per ciò che è dei trattati elementari, egli è inutile l'accennare la loro utilità, o il fermarsi sull'influenza che la loro presente abbondanza, paragonata con la notevole mancanza passata, sarà probabilmente per esercitare nell'avvenire. — Egli è solamente col condensare, semplificare e disporre nella maniera più lucida che sia possibile le cognizioni acquistate dalle passate generazioni, che si metteranno i posteri in istato di valersi pienamente del punto avanzato dal quale dovranno partire.

386. Uno dei mezzi coi quali una scienza fisica già bene inoltrata contribuisce grandemente ad accelerare e ad assicurare i suoi ulteriori progressi si è l'esatta conoscenza acquistata di dati fisici, o di quelle quantità normali, di cui abbiamo più d'una volta parlato nelle pagine precedenti (§ 222); conoscenza che ci fa non solamente apprezzare l'accuratezza degli sperimenti, ma correggere persino i loro risultati. Siccome non vi è indizio più sicuro dello stato della scienza in qualunque età che il grado di sollecitudine impiegato e di discernimento dimostrato nella scelta di questi dati, affine di porgere il fondamento più semplice che sia possibile all'applicazione delle teorie, e il grado di accuratezza cui si è giunto nella determinazione di quelli, così non vi è cosa che tanto possa riuscir vantaggiosa alla scienza quanto le ricerche espressamente dirette a quest'oggetto ed alla costruzione di tavole offerenti le vere relazioni numeriche degli elementi delle teorie, e lo stato attuale

della natura in tutte le sue parti. Queste determinazioni sole possono attestare i cambiamenti che lentamente e in modo impercettibile si operano nel presente ordine di cose; e più saranno accurate, *più presto* questa conoscenza sarà acquistata. Quali non sarebbero le nostre cognizioni intorno al movimento delle (così dette) stelle fisse, se gli antichi avessero avuto i mezzi d'osservazione che abbiamo noi, e gli avessero impiegati come da noi adesso s'impiegano?

387. Nell'enumerazione delle cause che hanno contribuito al recente rapido avanzamento della scienza, non è da dimenticarsi l'importantissima dei migliorati mezzi di osservazione, che costantemente si vanno perfezionando, tanto negli strumenti adattati all'esatto misuramento delle quantità, quanto nella generale convenienza e nel sagace adattamento al loro oggetto di tutte le specie di apparecchi scientifici. Nel presente stato della scienza poche osservazioni possono produrre un gran vantaggio fuori di quelle che danno un misuramento accurato, e in questo rispetto si desidera costantemente un raffinamento maggiore. Il grado di delicatezza cui si è giunto, non diremo nelle più elaborate opere dell'arte più raffinata, ma in quegli apparecchi ordinari che ogni osservatore può procurarsi, è tale che non si sarebbe potuto ottenere salvo in uno stato di arti meccaniche che (tale è la mutua reazione di cause e di effetti) richiede per la sua esistenza una condizione di scienza molto inoltrata. Quanta e quale influenza possa essere esercitata sul progresso di un sol ramo di scienza dall'invenzione di un pronto e conveniente mezzo di

eseguire un misuramento definito, e dalla costruzione e dall' uso comune di uno strumento che vi sia adattato, non si può meglio dimostrare che coll'esempio del geniometro riflettore. Questo semplice, a buon mercato e portabile stromentuccio ha cambiata la faccia della mineralogia, e le ha dato tutti i caratteri di una scienza esatta.

388. I nostri mezzi di vedere o di misurare le quantità minute, nelle importanti relazioni di peso, di spazio e di tempo, sembrano già essere portate ad un punto oltre al quale si può appena concepire che sia possibile lo andare. Si sono costrutte bilance che hanno reso sensibile la milionesima parte dell' intera quantità pesata; ed il muoversi della millesima parte di un grano è cosa che accade in bilance non dotate di uno straordinario grado di merito. La bella invenzione dello sferometro, sostituendo il senso del tatto a quello della vista nel misuramento di oggetti minuti, permette di determinare le loro dimensioni con un grado di precisione pienamente adeguato alle più sottili delle scientifiche indagini. Col suo aiuto, un'oncia in lunghezza può facilmente essere suddivisa in dieci od anche in ventimila parti; e la *leva di contatto*, strumento adoperato dagli ottici Tedeschi, ci permette di apprezzare quantità di spazio ancora più minute. Per la suddivisione del tempo, la perfezione del meccanismo moderno ha pure somministrato mezzi che lasciano pochissimo da desiderare. Per mezzo di pendoli e di cronometri, come adesso si costruiscono, pochi decimi di un minuto secondo sono il massimo dell' errore che si può incontrare nella suddivisione

di un giorno; e per l'ulteriore divisione di più minute porzioni di tempo, si sono imaginati stromenti che ammettono una quasi illimitata precisione e ci permettono di apprezzare intervalli sino alla delicatezza di una centesima od anche di una millesima parte di un solo minuto secondo (1). Quando la precisione cui si può giugnere per tali mezzi è posta a confronto con quella che si poteva ottenere alcune generazioni addietro coi rozzi e grossolani lavori della prima parte medesima del passato secolo, non sarà cagione di maraviglia se le scienze che dipendono da esatti misuramenti hanno fatto progressi proporzionati. Nè grado alcuno di delicatezza nelle determinazioni fisiche sembrerà impossibile a conseguirsi, se consideriamo gl' inesauribili mezzi che la scienza stessa somministra, nel rendere le quantità attualmente da determinarsi per misuramento grandi moltipli degli elementi richiesti per l'oggetto della teoria, in modo da diminuire nella stessa proporzione l'influenza di qualunque errore possa scorrere nei risultamenti finali.

389. Per grandi che siano stati in questi ultimi tempi i perfezionamenti nella costruzione degli stromenti, tanto per la comodità delle forme, quanto per l'accuratezza, egli è alla scoperta di perfezionati *metodi* d'osservazione che si debbono i principali progressi di quelle parti di scienza che dipendono da esatte determinazioni. La *bilancia di torsione*, invenzione ingegnosa di Cavendish e di Coulomb, può essere citata come esempio di ciò che intendiamo. Per suo

(1) Vedi la descrizione di un' invenzione di questa sorta nella lettera del Dr. Young, vol. 1, pag. 191.

mezzo non solamente possiamo render sensibili, ma ancora assoggettare a preciso misuramento e a suddivisioni, gradi di forza infinitamente troppo deboli per produrre effetto sulla più dilicata bilancia di costruzione ordinaria, quand' anche fosse possibile di portarli ad agire su di essa. Il galvanometro offre pure un altro esempio dello stesso genere, in uno strumento la cui utilità si mostra tra le forze elettriche che non abbiamo alcun altro mezzo di rendere sensibili e molto meno di stimare con esattezza. Nelle determinazioni di quantità meno minute in se stesse, i metodi imaginati dai signori Arago e Fresnel, pel misuramento dei poteri refrattivi dei mezzi trasparenti per via del fenomeno della diffrazione, possono citarsi come offerenti un grado di precisione da null'altro limitato fuorchè dai desideri dell' osservatore, e dal tempo e dalla pazienza che vuol consacrare alla sua osservazione. E per riguardo alla direzione delle osservazioni a quei punti dai quali si possono ottenere vere notizie e trarre conclusioni positive, l'igrometro di Daniell può essere menzionato come un bell' esempio dell' introduzione in uso generale di uno stromento che ha sostituito una indicazione fondata su principii rigorosi ad una che era perfettamente arbitraria.

390. Nello specolare sulle future speranze della scienza fisica, non sarebbe giusto il lasciare addietro la probabilità o piuttosto la certezza che siano talora per rinnovarsi quei fortunati accidenti che hanno avuta una così possente influenza sul passato; occasioni nelle quali una fortunata combinazione opportunamente osservata può farci conoscere in un istante

principii di cui non si avrebbe alcun sospetto se non fosse per una simile osservazione accidentale. Boyle ha intitolato uno dei suoi saggi con queste parole rimarchevoli: — « *Della grand' ignoranza dell' uomo intorno agli usi delle cose naturali; ovvero che non esiste cosa alcuna in natura di cui si conoscano pienamente gli usi per la vita umana* (1) ». La storia tutta delle arti, dai tempi di Boyle in qua, è stata un continuo comento di questo testo; e se riguardiamo, tra gli usi delle opere della natura, a *quello* che è sicuramente il più nobile di tutti, il quale ci guida alla conoscenza dell' Autore della natura per mezzo della contemplazione del modo maraviglioso col quale ha compiuto i suoi disegni nelle sue opere, le scienze non hanno dato minore testimonianza della sua verità. Nè dobbiamo supporre che il campo si sia menomamente ristretto, o che le probabilità di così fortunate scoperte si siano punto diminuite per quelle che già si sono fatte; al contrario si sono incalcolabilmente estese. Egli è vero che i fenomeni ordinari che accadono sotto i nostri occhi sono stati minutamente esaminati, e che i più potenti ed ovvii principii che si presentano all' osservazione superficiale sono stati osservati ed incorporati nei nostri sistemi di scienza, ma per non dire che la massima parte dei fenomeni naturali sono ancora da spiegarsi, ogni nuova scoperta nella scienza, rivela classe intiere di fatti che diversamente non sarebbero mai cadute sotto la nostra osservazione, e stabilisce relazioni che somministrano alla mente filosofica un campo sempre più esteso di specolazioni,

(1) Boyle, opere, in-fol. vol. III, saggio X, p. 185.

nello scorrere il quale è quasi impossibile che non incontri nuovi ed inaspettati principii. Quanto infinitamente maggiori, per esempio, non sono le mere probabilità di scoperte nella chimica fra le innumerevoli combinazioni con le quali il chimico moderno è familiare, che non fossero al tempo che due o tre elementi imaginari e da dieci a venti sostanze le cui proprietà si conoscevano in una maniera alquanto distinta, formavano lo stretto circolo nel quale le idee del filosofo si dovevano aggirare? Quanti esempi non abbiamo ne' quali una nuova sostanza o una nuova proprietà, introdotta nell' uso familiare, per essere così stata posta in relazione con tutti i nostri presenti elementi di sapere, è divenuta il mezzo per cui si svilupparono proprietà e principii fra gli oggetti più comuni, che altrimenti non sarebbero mai stati scoperti? E per dare un esempio; se il platino non fosse stato un oggetto che comunemente s'incontra in un' officina chimica, chi avrebbe mai sospettato che si potesse fabbricare una lampada che ardesse senza fiamma? E saremmo noi mai arrivati ad aver conoscenza di quei curiosi fenomeni e di quei prodotti di semi-combustione che questo bello sperimento rivela?

391. Finalmente quando riflettiamo su ciò che è stato fatto nella scienza e lo paragoniamo con ciò che rimane a farsi, non possiamo non essere profondamente impressi dell' idea che abbiamo lavorato e stiamo ancora lavorando pel bene delle vegnenti generazioni (1). In questi casi solamente siamo giunti a quel-

(1) Jackson, Le quattro età, pag. 52. Londra: Cadell e Davies, 1798, in-8.°

le leggi generali o assiomi che ammettono una diretta illazione deduttiva, e ci pongono dinanzi le soluzioni dei fenomeni fisici come tanti problemi di cui possediamo pienamente i principii di soluzione, e che non richiedono altro se non acutezza di raziocinio per seguirli sino nei loro ultimi penetrali. In un numero ancora minore di casi abbiamo potuto sollevarci a quel potere di raziocinio astratto che è necessario per compiere un' opera di tanta difficoltà. La scienza adunque, in relazione alle nostre facoltà, rimane tuttavia infinita e inesplorata, e dopo il trascorrere di un secolo e mezzo dall' era delle scoperte di Newton, durante i quali ogni sua parte è stata coltivata con uno zelo ed un' energia che al certo furono ampiamente ricompensati, noi rimaniamo nella posizione in cui quel sommo filosofo si figurava di essere, lungo il lido di un vasto oceano, dalle cui spiagge abbiamo raccolto alcune di quelle innumerevoli e belle produzioni che getta fuori con inesausta prodigalità, ma il cui acquisto non può essere riguardato come una diminuzione dei tesori che vi rimangono.

392. Ma questa considerazione lungi dal reprimere i nostri sforzi, o dal toglierci la speranza di giungere a qualche oggetto intrinsecamente grande, dovrà piuttosto eccitarci a nuove imprese per la certezza di un' ampia ricompensa, parte di quel tesoro inesauribile che null' altro aspetta se non di essere assiduamente esplorato dalle nostre fatiche. « Non è già uno sprezzare la mente umana il supporla incapace di sforzi infiniti, o di esaurire un soggetto infinito (1) ».

(1) Jackson, le quattro età, p. 90.



In qualunque stato di cognizioni che c' imaginiamo l'uomo esser posto, il suo progresso verso un più alto stato non avrà mai da temere un limite che lo arresti , ma debbe continuare sino all' ultima esistenza della società.

393. Ella è per questo rispetto vantaggiosa la idea della scienza, che riferisce ogni suo avanzamento alla scoperta di leggi generali, e all' inchiudere di ciò che è già noto in formole generali di un ordine ancora maggiore; imperciocchè questo modo di considerare il soggetto lo rappresenta qual' è veramente , essenzialmente incompiuto ed impossibiie a comprendersi tutto in un sistema o ad essere abbracciato da una sola mente. Tuttavia dobbiamo rammentarci che, per quanto l'esperienza c' insegna, ogni passo verso la generalità è stato ad un tempo un passo verso la semplificazione. Egli è soltanto quando andiamo erranti e smarriti nei labirinti di particolarità, o siamo impediti in tentativi inutili di aprirci una strada nei sentieri spinosi delle applicazioni, in cui le forze del nostro raziocinio non sono sufficienti, che la natura ci sembra complicata. — Tosto che la contempliamo qual è, ed occupiamo una posizione dalla quale possiamo dominare collo sguardo, non fosse che una picciola parte del suo disegno, non è mai che non riconosciamo quella sublime semplicità per cui la mente si persuade di essere giunta alla scoperta del vero.

FINE.



INDICE DEI CAPITOLI

PARTE PRIMA

DELLA NATURA E DEI VANTAGGI IN GENERALE DELLO STUDIO DELLE SCIENZE FISICHE

CAPITOLO I

CAPITOLO II

CAPITOLO III

PARTE SECONDA

DEI PRINCIPII CHE FISSANO I METODI D' INDAGINE NELLA SCIENZA FISICA, E DELLE NORME SECONDO LE QUALI UN ESAME SISTEMATICO DELLA NATURA DOVREBBE ESSERE REGOLATO, CON ESEMPI ILLUSTRATIVI DELLA LORO INFLUENZA, TRATTI DALLA STORIA DE' SUOI PROGRESSI.

CAPITOLO I

CAPITOLO II

CAPITOLO III

CAPITOLO IV

CAPITOLO V

CAPITOLO VI

CAPITOLO VII

PARTE TERZA

DELLA SUDDIVISIONE DELLA FISICA IN PARTI DISTINTE, E DELLE LORO RELAZIONI VICENDEVOLI

CAPITOLO I

CAPITOLO II

CAPITOLO III

CAPITOLO IV

CAPITOLO V

CAPITOLO VI

INDICE ALFABETICO

NB. *I numeri indicano i paragrafi.*



